Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada

Sciences des écosystèmes et des océans | Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2018/054

Région de Terre-Neuve-et-Labrador

Base d'une approche de précaution et d'un cadre décisionnel pour la pêche du crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*) à Terre-Neuve-et-Labrador

D. Mullowney, K. Baker, E. Pedersen, D. Osborne

Direction des sciences
Pêches et Océans Canada
C. P. 5667
St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador) A1C 5X1

Octobre 2018

Canada

Avant-propos

Cette série de documents présente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (ON) K1A 0E6

http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2018
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Mullowney, D., Baker, K., Pedersen, E. et Osborne, D. 2018. Base d'une approche de précaution et d'un cadre décisionnel pour la pêche du crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*) à Terre-Neuve-et-Labrador. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2018/054. iv + 69 p.

Also available in English:

Mullowney, D., Baker, K., Pedersen, E., and Osborne, D. 2018. Basis for A Precautionary Approach and Decision Making Framework for the Newfoundland and Labrador Snow Crab (Chionoecetes opilio) Fishery. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/054. iv + 66 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ IV

INTRODUCTION 1

MÉTHODES ET RÉSULTATS 2

UNITÉS SPATIALES DE L'ÉVALUATION 2

PARAMÈTRES D'ÉVALUATION 2

Couvées d'œufs 2

CPUE de la pêche 4

Rejets de la pêche 11

POINTS DE RÉFÉRENCE 13

Couvées d'œufs 13

CPUE de la pêche 14

Rejets de la pêche 15

RÈGLES DE CONTRÔLE DES PRISES 16

Taux d'exploitation de référence 16

Options complémentaires 18

ÉTAT DU STOCK 19

DISCUSSION 19

PROBLÈMES LIÉS À LA QUALITÉ DES DONNÉES ET À L'APPLICATION DES UNITÉS SPATIALES 19

APPLIQUER UNE SAINE GESTION TOUT EN RECONNAISSANT LE RISQUE DE DOMMAGES SÉRIEUX 20

CADRE PRUDENT ET ADAPTATIF 21

CHANGEMENTS À VENIR 22

RÉFÉRENCES 22

FIGURES 26

TABLEAUX 67

RÉSUMÉ

Le présent document a été rédigé à la suite d'un processus d'examen par les pairs mené en juin 2018 qui portait sur l'élaboration d'un cadre de l'approche de précaution (AP) et d'un cadre de gestion décisionnel (CD) pour la ressource en crabe des neiges et la pêche du crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador. Il présente certains faits historiques entourant la création d'une AP et d'un CD pour cette pêche et différents modèles utilisés pour tester l'efficacité des indicateurs clés de l'état de la ressource en tant que base des points de référence de l'état du stock et des règles de contrôle des prises. Le rôle de la direction des sciences du MPO consiste notamment à établir des AP et des CD pour les ressources halieutiques canadiennes et à fournir des points de référence limites (PRL) et les références connexes pour les prélèvements par la pêche. Une approche utilisant plusieurs indicateurs est appliquée pour évaluer la ressource et élaborer un cadre. Trois paramètres sur la ressource et la pêche (plénitude des œufs pondus, capture par unité d'effort [CPUE] de la pêche et rejets de la pêche) sont examinés, l'accent sous-jacent étant mis sur les deux principes clés de la protection biologique et de l'extraction efficace de la ressource pour guider la philosophie de l'approche.

INTRODUCTION

En 2006, Pêches et Océans Canada (MPO) a rédigé des lignes directrices sur l'élaboration et la mise en œuvre de cadres de l'approche de précaution (AP) et de cadres décisionnels (CD) dans la gestion des ressources halieutiques au Canada (MPO 2006, 2009). Le MPO n'a toutefois pas encore adopté de cadre d'AP/CD officiel pour la gestion de la ressource en crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*) et de la pêche du crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador. De tels cadres sont appliqués à la gestion d'autres pêches du crabe des neiges dans le Canada atlantique depuis plusieurs années (MPO 2010, 2015). Un objectif sous-jacent clé de la mise en œuvre d'un cadre AP/CD est d'empêcher la pêche de causer des dommages sérieux aux ressources aquatiques. Lorsqu'une grande incertitude scientifique entoure les paramètres de l'état du stock, il est conseillé de prendre des décisions de gestion prudentes.

Au bout du compte, presque toutes les itérations des cadres AP/CD s'efforcent de mettre en place une gestion des ressources halieutiques transparente et axée sur des cibles. Avec de tels cadres, l'état du stock est évalué par rapport à des indicateurs décrits au préalable (les « points de référence ») et les décisions de gestion sont prises conformément aux règles de contrôle des prises prescrites, qui reflètent la tolérance au risque en fonction de l'état du stock. Un cadre type d'AP comprend une mesure de la taille du stock, souvent la biomasse du stock reproducteur (BSR), par rapport à une mesure de l'effet de la pêche, comme le taux de récolte. Un cadre d'AP/CD est à la fois requis par le MPO et nécessaire pour ce stock puisque ce dernier fait l'objet d'une écocertification par le Marine Stewardship Council (MSC). Cet organisme a accordé l'écocertification de ressource gérée de manière durable à la pêche du crabe des neiges à T.-N.-L. en 2012 à la condition qu'un cadre AP/CD soit mis en œuvre les années suivantes.

Un groupe de travail (GT) de l'AP, composé de membres du Secteur des sciences et de la Gestion des ressources du MPO ainsi que de représentants de l'industrie de la pêche, a été créé pour préparer la mise en œuvre d'un cadre AP/CD dans la gestion du crabe des neiges à T.-N.-L. en 2012. À ce jour, le GT n'a pas formulé de proposition suffisamment satisfaisante pour qu'il soit possible de mettre en œuvre un cadre officiel. Le GT affirme que la conjonction des attributs biologiques uniques du crabe des neiges, d'un degré élevé de régulation climatique de la ressource (Mullowney *et al.* 2014) et d'un ensemble strict de règlements de gestion constitue déjà un cadre AP/CD suffisant pour cette pêche (Dawe et Mullowney 2016). L'un des principaux arguments avancés par le GT réside dans le fait que la biomasse exploitable de crabes des neiges mâles (largeur de la carapace [CW] ≥ 95 mm), la partie de la ressource ciblée par la pêche, n'est pas une analogie appropriée pour la BSR (ou une mesure semblable de l'état du stock) dans un cadre. Cet argument s'appuie sur le fait que les mesures de gestion actuelles et la sélectivité des engins sont suffisantes pour empêcher pratiquement toutes les femelles d'être capturées et ont régulièrement permis, jusqu'à présent, de ne conserver qu'une partie des mâles (fig. 1). En conséquence, la théorie est que les mesures de gestion actuelles préservent constamment la capacité reproductrice du stock. Le GT a conseillé d'envisager d'autres approches que les cadres classiques fondés sur la biomasse pour le crabe des neiges à T.-N.-L., par exemple en cherchant à renforcer l'efficience de la pêche dans l'extraction de la ressource.

Ce document présente des analyses quantitatives et qualitatives à l'appui d'un cadre AP/CD pour le crabe des neiges à T.-N.-L. qui permet de préserver la capacité reproductrice du stock tout en réduisant au minimum le gaspillage pendant l'extraction de la ressource. Une approche utilisant plusieurs indicateurs est décrite, conformément à l'opinion du GT. Elle est axée sur trois paramètres clés de l'état du stock :

1. Les couvées d'œufs par les femelles,
2. La capture par unité d'effort (CPUE) de la pêche,
3. Les rejets de la pêche.

Ces trois paramètres visent à couvrir directement et indirectement les deux principes clés de la protection biologique et de l'efficience dans l'extraction de la ressource.

Dans cette analyse, conformément aux orientations stratégiques du MPO (MPO 2006, 2009), nous fournissons des bases pour les points de référence limites (PRL) des principaux paramètres et des orientations pour les points de référence supérieurs du stock (PRS). Les références correspondantes pour les prélèvements sont indiquées et un avis sur les règles de contrôle des prises (RCP) permettant une exploitation durable de la ressource est fourni.

MÉTHODES ET RÉSULTATS

UNITÉS SPATIALES DE L'ÉVALUATION

Cinq divisions d'évaluation (DÉ), tirées des limites des divisions de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO) et reprenant celles utilisées dans les évaluations annuelles du crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador sont présentées dans les analyses (fig. 2). Ces DÉ s'étendent du centre du Labrador au nord (2HJ), en traversant les eaux côtières au large de la côte nord-est de l'île de Terre-Neuve (3K), jusqu'à la plus grande DÉ représentée par le Grand Banc (3LNO) dans la zone extracôtière au large de la côte sud-est de Terre-Neuve. La DÉ 3Ps se trouve au large de la côte sud de Terre-Neuve. La DÉ 3L côtière est évaluée séparément de la zone extracôtière, à plus grande échelle (DÉ 3 LNO) en raison des différences de disponibilité des données, car les relevés multispécifiques au chalut ne couvrent pas régulièrement les baies côtières où se trouve la biomasse élevée du crabe des neiges (Mullowney *et al.* 2017).

Les zones au large de la côte ouest de Terre-Neuve, dans le golfe du Saint-Laurent (DÉ 4P3Pn) ne sont pas prises en compte dans cette analyse, car il manque des données nécessaires pour établir les indices pour tous les paramètres principaux; en particulier, la région de Terre-Neuve-et-Labrador du MPO n'effectue pas de relevé au chalut, les taux de retour des journaux de bord ont été historiquement bas et il n'y a quasiment pas de présence des observateurs en mer durant toute la série chronologique (Mullowney *et al.* 2017). Ce cadre ne tient pas compte des variations du stock entre les zones de gestion du crabe (ZGC) à plus petite échelle utilisées pour gérer la pêche, car les données ne sont pas suffisantes pour qu'il soit possible de réaliser cette analyse à de si petites échelles spatiales. De plus, les ZGC sont généralement trop petites pour constituer des unités significatives sur le plan biologique. Le stock génétique couvre tout le Canada atlantique (Puebla *et al.* 2008), ce qui permet de penser que la dynamique de la dérive des larves se produit à une échelle beaucoup plus grande que les ZGC et que les déplacements ontogénétiques et saisonniers du crabe sortent des limites de ces zones (Mullowney *et al.* 2018).

PARAMÈTRES D'ÉVALUATION

Couvées d'œufs

Les données sur la plénitude des œufs chez les femelles matures capturées dans les relevés multispécifiques extracôtiers au chalut et dans les relevés côtiers au casier du crabe des neiges réalisés par le MPO ont été enregistrées pour chaque relevé effectué depuis vingt ans. Les relevés multispécifiques au chalut sont régulièrement menés dans les divisions 2J3KLNO de

l'OPANO à l'automne (de septembre à décembre) depuis 1995 et dans la sous-division 3Ps au printemps (de mars à mai) depuis 1996. Les relevés côtiers au casier sont conduits dans la DÉ 3K (baies White et Notre-Dame) depuis 1994 de la fin du mois d'août à la mi-septembre. Dans la DÉ 3L côtière, les relevés à long terme sont réalisés dans les baies de Bonavista (fin juillet) et Conception (fin septembre/début octobre) depuis 1979, mais seulement depuis 4-5 ans dans les baies de la Trinité (début août) et St. Mary's (mi-juin). Dans la DÉ 3Ps, un relevé au casier est effectué dans la baie Fortune au début du mois de juin depuis 2007. De plus amples détails sur tous les relevés au chalut et au casier se trouvent dans Mullowney *et al.* 2017.

Les données sur la plénitude des couvées des femelles matures tirées de tous les relevés sont peu précises, indiquant si les sujets ont des couvées pleines ou partielles, sans autre quantification plus fine de la plénitude relative des couvées partielles. C'est pourquoi l'indice de plénitude des couvées a été traité comme un binôme, les individus étant soit « pleins », soit « non pleins » d'œufs viables. Cependant, d'autres codes utilisés dans les ensembles de données, qui indiquent les couvées d'œufs récemment libérées (indications d'œufs viables restants) ont été groupés avec la classification de couvée pleine, partant de l'hypothèse que l'animal avait récemment produit une couvée viable d'œufs.

Les aspects biologiques de la croissance et de la reproduction du crabe des neiges sont complexes. La croissance est un processus en plusieurs étapes associée à la mue, qui cesse après une dernière mue (Conan et Comeau 1986). La dernière mue intervient sur une fourchette étendue de tailles, soit une CW de 40–160 mm pour les mâles et de 30-95 mm pour les femelles (Sainte-Marie et Hazel 1992; Sainte-Marie *et al.* 1996). Les mâles parviennent à la maturité sexuelle avant la dernière mue. Ils deviennent « morphométriquement matures » avec le développement de grosses pinces au moment de la dernière mue. Un « adolescent » est un mâle mature sur le plan sexuel, mais pas sur le plan morphométrique. Chez les femelles, la maturité sexuelle et morphométrique et la dernière mue se produisent en même temps. On estime qu'il faut au moins de huit à dix ans pour qu'un crabe mâle atteigne une taille exploitable (CW de 95 mm) à Terre-Neuve-et-Labrador (Mullowney *et al.* 2017), la longévité maximale après la dernière mue étant de sept à huit ans environ (Fonseca *et al.* 2008), bien qu'il soit probablement assez rare qu'il parvienne à cet âge.

D'après la dynamique de la reproduction, les couvées pleines d'œufs viables devraient être courantes chez les femelles matures. Le choix du partenaire se fait au hasard et les femelles reproductrices peuvent ainsi être inséminées par plusieurs mâles chaque année (Sainte-Marie et Hazel 1992; Sainte-Marie *et al.* 1999, 2008). De plus, elles peuvent stocker le sperme pour féconder des couvées ultérieures (Sainte-Marie et Carrière 1995). Les mâles adultes de taille non réglementaire (CW < 95 mm) peuvent s'accoupler avec des femelles, mais les plus gros adultes sont probablement les reproducteurs qui réussissent le plus en cas de concurrence pour l'accouplement (Sainte-Marie *et al.* 1999). De surcroît, les mâles adolescents peuvent également s'accoupler (Kolts *et al.* 2015), mais l'ampleur d'un tel comportement est inconnue. Enfin, le temps d'incubation des œufs peut être prolongé, surtout dans des conditions froides où les femelles peuvent les porter pendant deux ans avant de les libérer (Kanno 1987, Sainte-Marie 1993); la durée est plus couramment d'un an dans les régions plus chaudes.

Les stratégies de cycle biologique différentes entre les sexes permettent de « moduler » naturellement les niveaux des couvées d'œufs; ces variations dépendent du stade du « cycle » de développement d'une cohorte donnée (Sainte-Marie *et al.* 1996). On peut prendre comme premier exemple une population contenant une proportion relativement élevée de femelles sénescentes. Dans ce cas, on s'attendrait à trouver relativement peu de couvées pleines chez les femelles matures. À titre de second exemple, comme les femelles d'une cohorte atteignent normalement l'âge de la maturité sexuelle avant les mâles, les niveaux de réussite de la

fécondation devraient être relativement bas pendant la période de rareté avant la maturité de la plupart des mâles. Cependant, dans un stock sain composé de plusieurs cohortes mixtes d'une taille quelconque, il serait relativement rare de rencontrer de telles occurrences de faible plénitude des couvées. Ce constat est étayé par des niveaux constamment élevés de plénitude des couvées d'œufs sur une vaste échelle spatiale (fig. 3).

Des proportions élevées de femelles portant des couvées moins que pleines d'œufs viables sont considérées comme une préoccupation biologique potentielle pour la capacité de reproduction du stock, résultant de la pêche. Sainte-Marie et ses collègues (2008) expliquent que certaines des conséquences possibles d'une pêche excessive de gros mâles peuvent être de favoriser l'accouplement de mâles moins féconds, de réduire les possibilités de choix de partenaire pour les femelles et d'accroître la vraisemblance de carence en sperme. Ils affirment que ces changements ont des effets mixtes, mais encore incomplètement compris sur le succès reproducteur des femelles et que le potentiel à long terme de sélection génétique par rapport à une grande taille à la maturité demeure incertain. De plus, les gros mâles matures sont importants pour protéger les femelles vulnérables lorsque leur carapace est molle après la mue (Rondeau et Sainte-Marie 2001).

Les relevés multispécifiques extracôtiers au chalut sont connus pour capturer peu de femelles de taille réglementaire (Dawe *et al.* 2010). La capturabilité des chaluts est la plus élevée pour les gros crabes sur des substrats meubles. On craignait que les petites tailles des échantillons de femelles obtenus à l'aide des relevés au chalut ne réduisent la fiabilité de la plénitude des couvées d'œufs en tant que paramètre important dans un cadre AP/CD. Pour en tenir compte, on a calculé les sommes cumulatives sur deux ans de chaque groupe de femelles (couvées pleines et non pleines) avant d'en tirer les pourcentages de la plénitude des couvées. Même si les échantillons étaient plus importants dans les relevés côtiers au casier, on a appliqué la même procédure de somme cumulative dans un souci d'uniformité. C'est dans les relevés extracôtiers au chalut de la DÉ 2HJ, où la somme cumulative sur deux ans donne de 100 à 250 animaux chaque année, que la petite taille des échantillons de femelles matures est la plus préoccupante (fig. 4).

Les niveaux de plénitude des couvées étaient très uniformes entre les échantillons capturés au chalutier hauturier et au casier côtier sur un vaste spectre spatial. À très peu d'exceptions près, la proportion de femelles porteuses de couvées pleines d'œufs viables est restée au-dessus de 0,6 chaque fois qu'elle a été mesurée, les proportions supérieures à 0,8 constituant la norme (figures 3, 5). La baie Fortune (DÉ 3Ps) est une exception à souligner, avec un indice de plénitude des couvées chutant à 0,5 en 2014 (fig. 5). Il s'agit d'une zone où la biomasse de mâles exploitables et la CPUE de la pêche sont basses depuis une longtemps (Mullowney *et al.* 2017).

Dans la DÉ côtière 3L, les seules données disponibles sur les couvées proviennent de relevés localisés au casier menés dans les baies Bonavista, Conception, de la Trinité et St. Mary's, ainsi qu'au large de la presqu'île Avalon (fig. 5). Cependant, les séries chronologiques étaient incomplètes et manquaient de cohérence entre les baies. Afin de tenir compte des différences spatiales dans l'échantillonnage et en vue d'inclure définitivement cette DÉ dans un cadre AP/CD, on a utilisé une moyenne pondérée de la superficie de la strate-area pour calculer une estimation composite par division de la plénitude des couvées d'œufs chaque année.

CPUE de la pêche

On sait que la CPUE traduit la force relative de la biomasse exploitable dans toutes les DÉ, l'indice du taux de prise annuel étant en retard d'un an (casier) ou deux (chalut) pour exprimer les estimations de la biomasse tirées du relevé annuel. On sait aussi que la CPUE est

inversement proportionnelle aux niveaux annuels de rejets de la pêche dans toutes les DÉ sur l'ensemble de la série chronologique (Mullowney *et al.* 2017), que l'on croit indiquer une capturabilité accrue de crabes de taille non réglementaire ou à carapace molle en l'absence de gros mâles.

Le paramètre de la CPUE utilisé dans ce cadre est une moyenne annuelle prédite des prises par casier levé (prises totales divisées par le nombre total de casiers par trait), fondée sur un modèle de prédiction défini ci-après, et non une mesure instantanée de la CPUE à un moment donné. D'autres paramètres de la CPUE ont été étudiés pendant le processus d'examen par les pairs, comme la CPUE au début de la saison de pêche, qui donnerait la meilleure corrélation avec la biomasse au début de l'année, et la CPUE à la fin de l'année, qui intégrerait à la fois la biomasse au début de l'année et l'effort de pêche. Le processus d'examen par les pairs a cependant démontré que la CPUE moyenne annuelle est étroitement corrélée aux estimations du début et de la fin de la saison pour chaque DÉ.

Bien que les estimations décalées de la biomasse annuelle reflètent généralement uniformément les estimations de la biomasse tirées du relevé annuel pour cette ressource/pêche, la CPUE peut poser plusieurs problèmes pour l'interpréter en tant que paramètre de la taille relative du stock. Tout comme elle l'est aux changements de la taille du stock, la CPUE est également sensible aux changements de la technologie halieutique et des répartitions spatiales de l'effort de pêche (Hilborn et Walters 1992). De ce fait, l'utilisation de la CPUE en tant qu'indicateur pourrait masquer des changements de la taille du stock. Dans de nombreuses pêches, la CPUE diminue plus lentement que la biomasse/abondance du stock exploité (c.-à-d. qu'elle est hyperstable, Harley *et al.* 2001). Ce phénomène s'est produit à Terre-Neuve-et-Labrador pendant l'effondrement de la morue du Nord (*Gadus morhua*) au début des années 1990, alors que la CPUE de la pêche demeurait artificiellement élevée dans certaines zones, reflétant une hyperstabilité introduite par la pêche de groupes denses existants de poissons (Rose et Kulka 1999). L'hyperstabilité des indices de la CPUE relatifs à la taille du stock peut s'observer en cours de saison et sur des échelles temporelles prolongées. Par exemple, le décalage d'un ou deux ans couramment constaté entre les orientations des indices de la biomasse tirés des relevés annuels et les réactions dans la CPUE annuelle indique un processus progressif (non instantané). Les mesures annuelles de la CPUE peuvent également masquer l'ampleur relative des deux processus clés qu'elle représente, celle de la biomasse initiale et la portée correspondante de l'exploitation. Par exemple, on pourrait obtenir une estimation semblable du taux de prise annuel pour une population dense à l'origine qui est fortement exploitée et une population éparse à l'origine légèrement exploitée. Ce résultat décrit cependant surtout l'un des principes sous-jacents de la plupart des cadres AP/CD, à savoir de réduire la fraction de la récolte lorsque la biomasse relative est basse et d'autoriser une augmentation de la fraction de la récolte lorsque la biomasse relative est élevée.

Compte tenu d'un ensemble d'indicateurs négatifs sur la ressource provenant de la dernière évaluation du stock (MPO 2018), notamment des niveaux bas de la biomasse exploitable, des indices élevés du taux d'exploitation, la diminution des débarquements, la mortalité totale élevée et croissante des crabes exploitables, le faible recrutement prévu dans la biomasse exploitable et la CPUE basse, le risque que la surinterprétation d'une CPUE potentiellement hyperstable donne des résultats négatifs pourrait être élevé à présent. Cependant, on comprend bien la relation entre la CPUE et la biomasse dans cette pêche, et elle est bien démontrée dans ce cadre. Par rapport à la biomasse, la CPUE offre également plusieurs avantages pour ce cadre. Tout d'abord, la série chronologique sur la CPUE est plus longue que toutes les séries de relevés. Par extension, elle est également plus étendue dans l'espace que les séries de relevés, puisque ni les relevés au chalut, ni ceux au casier ne couvrent régulièrement toutes les pêches gérées du crabe à T.-N.-L. De ce fait, sans source cohérente

d'information à long terme tirée des relevés et permettant de calculer la biomasse pour toutes les DÉ, on fait appel à différentes sources d'estimation pour les différentes DÉ. Ensuite, la CPUE est directement reliée à la densité de la population par unité surfacique, plutôt qu'à l'abondance absolue. La densité de la population aurait une incidence plus forte sur les taux d'interaction locale interspécifique et intraspécifique. Comme les DÉ varient considérablement sur le plan de la superficie totale et qu'on ne connaît pas la proportion de chaque DÉ constituant un habitat du crabe, il serait difficile d'élaborer des points de référence cohérents axés sur l'abondance pour chaque DÉ, tandis qu'il est possible de définir un seul point de référence pour la CPUE dans toutes les DÉ. Enfin, bien que la CPUE affiche de l'hyperstabilité pour les abondances élevées dans cette pêche, la relation entre l'abondance et la CPUE dans chaque DÉ est à peu près linéaire aux faibles abondances pertinentes pour fixer les PRL (voir plus loin). On pense que les nombreuses ZGC à petite échelle spatiale dans lesquelles les quotas sont alloués offrent une protection partielle contre l'hyperstabilité lorsque la biomasse est basse puisqu'elles obligent à étendre l'effort de pêche dans l'espace chaque année; des zones marginales sont régulièrement incluses dans l'indice de la CPUE et le profil global de la pêche reste relativement constant tous les ans.

Le cadre recommande de prendre les décisions de gestion en fonction des estimations prédites plutôt qu'actuelles de la CPUE. L'examen des changements entre la CPUE observée et prédite pourrait permettre de déceler des interférences possibles résultant de l'évolution des technologies ou des profils de la pêche susceptibles de se répercuter sur l'efficacité de la CPUE. Nous soulignons également que les prédictions de la CPUE sont en partie basées sur les indices de la biomasse indépendants de la pêche et que la communication des changements de la biomasse par l'intermédiaire du paramètre de la CPUE devrait relever le degré de compréhension, de confiance et de propriété de ce cadre AP/CD, car la CPUE est depuis longtemps une mesure essentielle pour les gestionnaires et les pêcheurs qui gèrent cette pêche ensemble. Il convient de noter que des indices du taux de prise complémentaires et indépendants existent et contribuent à maintenir la fiabilité des déclarations du taux de prise (Mullowney et Dawe 2009).

Ce cadre utilise une série d'étapes de modélisation pour traiter les enjeux relatifs à la CPUE et pour élaborer un paramètre de prédiction de la CPUE pouvant servir d'indicateur :

- Utiliser un modèle d'effet mixte de la CPUE instantanée comme une fonction du jour de l'année, de l'année et du lieu de pêche pour tenir compte des fluctuations à petite échelle de la CPUE dans le temps. Les valeurs prédites par ce modèle servent à estimer la CPUE moyenne par an.
- Utiliser un estimateur de l'épuisement fondé sur la CPUE instantanée pour estimer la biomasse dans la DÉ pour chaque année. Calculer la régression des estimations de la biomasse du relevé sur ce paramètre pour déterminer les paramètres de capturabilité (q) propres à la DÉ.
- Calculer la régression des mesures de la CPUE annuelle moyenne de l'étape sur la biomasse du chalut (mise à l'échelle par q) à partir des mesures de l'année précédente et décalées de l'environnement et de l'effort de pêche.
- Utiliser le modèle de l'étape 3 pour produire une prédiction de ce que la CPUE moyenne *propre à la DÉ devrait* être une année donnée pour une biomasse du chalut, des conditions environnementales et un effort de pêche donnés.

Le reste de cette section donne une description détaillée de ces étapes.

Dans cette pêche, il est obligatoire de présenter les journaux de bord indiquant de manière détaillée le moment et le lieu des activités de pêche, le niveau de prises (tonnes) et le niveau

d'effort (casiers levés). Les taux de renvoi des journaux de bord dans la pêche sont généralement supérieurs à 70 % des sorties de pêche qui ont lieu dans une DÉ et une année données, et à 80 % dans toutes les DÉ examinées ces dernières années (fig. 6). Des études précédentes ont montré que les indices du taux de prise indiqué dans les journaux de bord correspondent bien à ceux d'autres sources, comme le système électronique de surveillance des navires (Mullowney et Dawe 2009), et il existe une série chronologique continue de données sur toute la pêche sur laquelle on peut fonder les analyses.

Les estimations de la CPUE annuelle de la pêche sont normalisées pour le temps et l'espace à l'aide d'un modèle mixte linéaire (MML) (éq [1]). Dans ce modèle, *y* indique une année donnée, *t* un jour donné et *D* une division donnée. Les variables α indiquent les interceptions, les variables β les coefficients de certaines covariables, les variables ϵ l'erreur non modélisée de la CPUE prédite et les variables σ^2 les écarts par rapport aux effets aléatoires ou la variable d'erreur. Le modèle fait régresser la variable-réponse de la CPUE transformée en racine carrée (prises/casier levé) à partir des observations individuelles (normalement par trait) par rapport aux effets fixes du temps, selon des intervalles de cinq jours ($\overline{\beta_{Day}}$) et la durée d'immersion des engins, mesurée en jours (β_{Soak}). On a utilisé les effets aléatoires pour modéliser la racine de la CPUE au début de la saison ($\alpha_{y,D}$) et les pentes des effets du temps ($\beta_{Day,y,D}$) des regroupements année*ZGC sont incluses dans le modèle. Le paramètre ZGC tient compte de la variation spatiale entre les différentes zones de gestion dans une DÉ. On a transformé la variable-réponse positivement asymétrique en racine carrée pour la normaliser, car on a constaté que des transformations plus fortes comme les logarithmes produisaient des distributions négativement asymétriques dans certains cas. Enfin, on pondère le modèle par l'effort (casiers). Ce modèle a été utilisé pour prédire la CPUE annuelle moyenne en calculant la moyenne de valeurs prédites propres au trait (ainsi que les estimations inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance de 95 %) pour chaque DÉ et année.

$$\sqrt{CPUE_{y,t,D}} = \alpha_{y,D} + \beta_{Day,y,D} \cdot Day_{y,t,D} + \beta_{Soak} \cdot Soak_{y,t,D} + \epsilon_{y,t,D}$$

$$\alpha_{y,D} \sim N(\mu, \sigma^2{}_{intercept})$$

[1] $$\beta_{Day,y,D} \sim N(\overline{\beta_{Day}}, \sigma^2{}_{Day})$$

$$\epsilon_{y,t,D} \sim N(0, \frac{\sigma^2{}_{error}}{effort})$$

La CPUE de la pêche a varié dans toutes les DÉ pendant toute la série chronologique (fig. 7). C'est généralement dans les divisions 3LNO qu'elle est la plus élevée, et elle se trouve actuellement à un creux ou un quasi-creux sur deux décennies dans toutes les DÉ sauf la 2HJ.

La CPUE de la pêche sert à ajuster les indices de la biomasse du relevé à des échelles comparables entre les DÉ et à l'intérieur de celles-ci (c.-à-d. à tenir compte des différences de capturabilité spatiotemporelle du relevé). Pour ce faire, on applique la modélisation de l'épuisement de Delury (Delury 1947). Cette méthode est illustrée sur la figure 8 (à partir de la DÉ 2HJ). On fait régresser la CPUE transformée en log naturel classé en fonction du temps (ln) selon l'effort de pêche cumulatif (mesuré en nombre de casiers, selon des intervalles de cinq jours) à l'aide d'un modèle d'effets mixtes avec un effet aléatoire pour la pente et l'interception, pour chaque combinaison DÉ-année. On estime alors la biomasse en tant qu'exposant naturel (e^x) de l'interception divisé par le négatif de la pente de la régression pour chaque combinaison année-DÉ, selon l'estimation standard de la population de Delury (Delury 1947). On compare ensuite ces biomasses en début de saison aux indices de la biomasse du relevé au chalut de l'automne précédent afin de calculer les facteurs d'échelle de

la capturabilité annuelle (les valeurs de *q*) pour les estimations de la biomasse du relevé au chalut. Dans la DÉ 3Ps, où le relevé a lieu en cours de saison, on a soustrait un tiers des débarquements annuels de la biomasse du début de saison estimée pour la comparer au relevé au chalut et en tirer les valeurs de *q*. Dans la DÉ côtière 3L, où il n'y a pas de relevé au chalut, on a comparé les estimations fondées sur l'épuisement de la pêche à un indice de la biomasse fondé sur le casier élaboré pour différents relevés au casier du MPO et collaboratifs (Mullowney *et al.* 2017) afin d'en tirer les valeurs de *q* du relevé.

Le principal intérêt que présente le calcul des estimations de la biomasse selon Delury (journaux de bord) réside dans la remise à l'échelle des estimations de la biomasse du relevé que l'on sait sous-estimées à des niveaux quasi absolus en ajustant les valeurs de *q*. Un facteur d'ajustement courant de *q* permet lui aussi de ramener les estimations de la biomasse des relevés au chalut et au casier à une échelle commune. La biomasse ajustée est par la suite utilisée comme intrant dans les modèles de prédiction de la CPUE et comme base du calcul des indices du taux d'exploitation.

Pour tenir compte de l'évolution de *q* dans le temps dans chaque DÉ, on a calculé une moyenne mobile avec pondération exponentielle (EWMA) à l'aide de la fonction *Proc Expand* en SAS. Cette EWMA incluait un facteur de lissage de 0,3 pour conserver l'influence des observations historiques sur la valeur terminale de la série chronologique. En gros, le facteur de lissage de *q* de l'EWMA est décalé dans la réponse aux changements annuels de la valeur de *q* du relevé et lorsque *q* n'affiche pas de tendance dans la série chronologique, l'EWMA est peu différente d'une moyenne arithmétique. Les valeurs de *q* utilisées dans l'analyse pour remettre la biomasse à l'échelle étaient comprises entre 0,08 dans la DÉ 3Ps, où est réalisé un relevé printanier, et 0,86 dans la DÉ côtière 3L, où on procède à un relevé au casier avec le même engin que celui utilisé par la pêche. Plusieurs facteurs ont probablement une incidence sur les valeurs de *q* du relevé au chalut, comme le navire, le substrat, la saison et la latitude (Mullowney *et al.* 2017 et références citées). La valeur élevée de *q* dans la DÉ côtière 3L reflète probablement l'engin du relevé puisque dans cette DÉ, le relevé utilise les mêmes casiers que la pêche.

On préfère moins les indices de la biomasse du relevé au casier que ceux du relevé au chalut, car, sur une grande échelle, leurs séries chronologiques sont plus courtes et on considère qu'ils ont une conception d'échantillonnage moins représentative, car ils évitent en général les zones peu profondes. Cela s'explique en grande partie par l'inclusion de l'ensemble de données du relevé collaboratif au casier d'après-saison (CPS) dans les analyses. Ce relevé, réalisé conjointement avec le Fish, Food and Allied Workers Union, a été conçu pour cibler les lieux de pêche profonds où la pêche est concentrée (Mullowney *et al.* 2017). C'est également le cas pour les relevés au casier effectués par le MPO dans les baies Bonavista et Conception dans la DÉ côtière 3L avant 2012; depuis, la conception des relevés a été stratifiée en fonction de la profondeur dans ces deux baies. Malgré leur couverture verticale incomplète, les relevés CPS présentent l'avantage, par rapport aux relevés au casier du MPO, d'offrir une vaste couverture spatiale et de couvrir davantage de ZGC chaque année.

L'indice de la biomasse tiré du relevé au casier dans la DÉ côtière 3L qui est utilisé dans cette analyse comprend les données des relevés CPS et du MPO (Mullowney *et al.* 2017). La brièveté de la série chronologique reflète le fait que le relevé CPS n'a commencé qu'en 2004 dans la plupart des zones de la DÉ côtière 3L; c'est donc cette année qui constitue le début de la série chronologique de l'indice de la biomasse. Néanmoins, l'indice du relevé au casier dans la DÉ côtière 3L affiche une forte corrélation avec l'indice de la biomasse du relevé au chalut de la DÉ voisine 3LNO (r^2=0,93) (fig. 9), ce qui appuie l'inclusion de l'indice de la biomasse tiré du relevé au casier dans la DÉ côtière 3L dans l'analyse.

Bien que la méthode de remise à l'échelle de l'épuisement pour estimer la biomasse exploitable (ci-après « la biomasse ») soit généralement considérée comme fiable, sa fiabilité dépend de plusieurs facteurs. Ainsi, les estimations finales de la biomasse ne sont pas jugées absolues, mais proches des valeurs réelles. Tout d'abord, la méthode de l'estimation de l'épuisement dépend du fait que la pêche provoque un épuisement grave de la ressource. Cela a été le cas dans la majorité des DÉ chaque année depuis 1999 (Mullowney *et al.* 2017). Ensuite, on craint que la méthode ne surestime légèrement la biomasse en raison de la non-linéarité créée par la saturation des casiers à une CPUE modérée au début de la saison, lorsque les biomasses sont élevées, et un taux d'épuisement accru vers la fin de la saison certaines années. De plus, la CPUE peut également augmenter vers la fin de la saison, lorsque les crabes dont la carapace était molle au début de la saison commencent à être piégés plus fréquemment (ce qui entraînerait aussi une surestimation de la biomasse au début de la saison). On a retiré les premiers et les derniers 5 % de l'effort de pêche dans une DÉ et une année données avant d'effectuer l'analyse de régression, de manière à tenir en partie compte de ces problèmes, mais il est admis que la biomasse est probablement encore surestimée. Cela se traduit à son tour par une sous-estimation des indices du taux d'exploitation qui en sont tirés et qui sont utilisés dans cette étude. Il convient de noter que l'on travaille à l'élaboration de méthodes non linéaires d'estimation de la biomasse fondée sur l'épuisement afin d'améliorer la précision et que les taux d'exploitation mis au point et étudiés en tant que cibles possibles des taux de récolte dans la pêche sont considérés comme préliminaires.

Nous avons exploré la possibilité de prédire la CPUE en commençant par examiner la relation entre la CPUE et la biomasse du relevé. Dans un premier temps, les estimations brutes de la biomasse annuelle ont été remises à l'échelle à l'aide des valeurs de *q* propres à chaque DÉ décrites précédemment. Ensuite, les estimations de la biomasse annuelle ainsi remises à l'échelle ont été lissées sous la forme de moyennes mobiles sur deux périodes afin de tenir compte des « effets de l'année » créés par l'efficience irrégulière du chalut. Ces effets de l'année ont été souvent évoqués lors des évaluations du stock de crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador (Mullowney *et al.* 2017). Le fait que les indices des crabes prérecrues tendent à être plus fortement corrélés avec les indices du crabe exploitable de la même année qu'avec un décalage est un exemple de leur présence. En outre, on soupçonnait que l'impact de la biomasse sur la CPUE afficherait un certain degré de comportement autocorrélé, l'indice de la biomasse d'une année donnée se répercutant sur la CPUE sur une période de plus d'une année subséquente, surtout dans les cas où la biomasse comporte une composante résiduelle importante.

La relation entre la CPUE et la biomasse s'est avérée non linéaire dans toutes les DÉ, traduisant un processus asymptotique (fig. 10). Ce processus pourrait, entre autres possibilités, refléter une concurrence entre les casiers ou leur saturation. À Terre-Neuve-et-Labrador, contrairement aux autres pêches du crabe dans le Canada atlantique et dans l'est de la mer de Béring en Alaska, les casiers à crabes sont attachés les uns aux autres en formant des filières (appelées « tessures ») et sont proches les uns des autres, espacés généralement de 45 m environ. Pour tenir compte de la forme relationnelle entre la biomasse et la CPUE, nous avons adapté un modèle de réponse non linéaire de type II à cette forme :

[2] $$\bar{C}_{y,D} = a_D \cdot \frac{(0{,}5 \cdot Biomass_{D,y-1} + 0{,}5 \cdot Biomass_{D,y-2})}{1 + a_D h_D (0{,}5 \cdot Biomass_{D,y-1} + 0{,}5 \cdot Biomass_{D,y-2})}$$

où $\bar{C}_{y,D}$ représente la CPUE prévue dans une DÉ-année donnée pour une biomasse donnée, a_D et h_D sont les paramètres de forme propres à la division qui reflètent « l'efficience de la recherche » et le « temps de manipulation » dans le processus et $Biomass_{D,y}$ est l'indice de la biomasse moyenne du relevé dans la DÉ *D* l'année *y* (fig. 10). Les paramètres ont été estimés dans *Proc NLIN* dans la version 5.1 de SAS Enterprise Guide.

La valeur prédite propre à la DÉ tirée de l'équation [2], $\bar{C}_{y,D}$, a été utilisée en tant que variable de décalage dans un MML pour estimer la CPUE prédite finale (équation [3]). Cette variable de décalage sert à établir à la fois un lien avec la biomasse et un paramètre structurel pour modeler la variable-réponse (CPUE) dans le modèle de prédiction. Un modèle global de réponse de type II dans lequel les DÉ sont regroupées a produit une estimation du point de saturation de 14,5 kg/casier (fig. 11), qui a ensuite été utilisée avec différents autres paramètres de la CPUE pour en tirer les points de référence. Les effets fixes dans le modèle de prédiction de la CPUE étaient l'indice du taux d'exploitation (ERI), le rapport des mâles exploitables et prérecrues d'après le relevé le plus récent (Ratio) et un indice décalé de l'oscillation nord-atlantique (NAO, mesurée à un certain décalage, *l*). Tous les paramètres ont été traités comme des effets aléatoires avec la DÉ comme niveau de regroupement. Comme les prédicteurs n'avaient pas été centrés avant d'être inclus dans ce modèle, le modèle comprenait aussi une variable d'interception aléatoire (α_D) en plus de la variable de décalage, afin de tenir compte du fait que la CPUE moyenne ne serait pas prédite comme égale au décalage si tous les coefficients étaient définis à zéro. Les valeurs prédites à l'aide de cette équation sont les indices utilisés dans le cadre principal.

$$\overline{CPUE}_{y,D} = \bar{C}_{y,D} + \alpha_D + \beta_{ERI,D} \cdot ERI_{y,D} + \beta_{Ratio,D} \cdot Ratio_{y,D} + \beta_{NAO,D} \cdot NAO_{y-l,D} + \epsilon_{y,D}$$

$$\alpha_D = N(\bar{\alpha}, \sigma_\alpha^2)$$

[3] $$\beta_{ERI,D} = N(\bar{\beta}_{ERI}, \sigma_{ERI}^2)$$

$$\beta_{Ratio,D} = N(\bar{\beta}_{ERI}, \sigma_{Ratio}^2)$$

$$\beta_{NAO,D} = N(\bar{\beta}_{ERI}, \sigma_{NAO}^2)$$

$$\epsilon_{y,D} = N(0, \sigma_\epsilon^2)$$

Le ratio des mâles exploitables et prérecrues a été inclus dans le modèle de prédiction de la CPUE pour intégrer le « pouvoir tampon » des crabes résiduels dans la population d'empêcher les prérecrues moins compétitifs d'être piégés. Des analyses *a priori* ont montré que la présence d'une biomasse résiduelle relativement importante est généralement associée à une CPUE accrue, alors qu'un rapport favorable aux prérecrues est souvent lié à une CPUE faible et à des niveaux de rejets élevés (Mullowney *et al.* 2017). Comme il n'y avait pas de relevé au chalut dans la DÉ côtière 3L à partir duquel formuler un rapport exploitable:prérecrues, c'est celui de la DÉ voisine 3LNO qui a été utilisé.

L'oscillation nord-atlantique (NAO) est un mécanisme dominant de forçage du climat et de l'océan à Terre-Neuve-et-Labrador (Colbourne *et al.* 2016) et dans la dernière évaluation du stock, cet indice climatique s'est avéré fortement corrélé avec la future biomasse exploitable dans toutes les DÉ. Des analyses exploratoires ont montré de fortes corrélations décalées de l'indice de la NAO avec la CPUE dans toutes les DÉ. L'oscillation nord-atlantique reflète la force relative de la pression atmosphérique au niveau de la mer entre les centres dominants dans l'ouest (dépression d'Islande) et l'est (anticyclone des Açores) de l'Atlantique Nord. Lorsque l'oscillation nord-atlantique est forte, les vents du nord-ouest de l'Arctique dominent et le plateau de T.-N.-L. subit des conditions globalement froides (Petrie 2007, Colbourne *et al.* 2016). Les données sur l'indice de l'oscillation nord-atlantique ont été tirées du site Web de la National Oceanographic and Atmospheric Association (NOAA) des États-Unis. L'indice de l'oscillation nord-atlantique utilisé ici est une moyenne mobile centrée et lissée sur trois périodes de l'oscillation nord-atlantique annuelle, qui est calculée en moyennant les valeurs mensuelles chaque année. De fortes corrélations croisées cohérentes entre la CPUE et l'oscillation nord-atlantique se sont produites à des décalages de 7-10 ans dans toutes les DÉ, les décalages les

mieux adaptés dans les modèles de prédiction de la CPUE étant de sept ans dans les DÉ 2HJ, 3K et 3PS, de huit ans dans la DÉ 3K et de neuf ans dans la DÉ 3LNO.

Le modèle de prédiction de la CPUE a prédit avec fiabilité les taux de prise de la pêche dans la plupart des DÉ et des années (fig. 12), sans tendances systématiques marquées dans les résiduels (fig. 13). Les valeurs prédites présentées pour 2018 présumaient un statu quo des débarquements par rapport à la saison de 2017 dans chaque DÉ. Une période d'exception digne de mention, où la CPUE prédite par le modèle et la CPUE observée ont divergé, s'est produite dans la DÉ 3K en 2007-2008. On ne connaît pas les raisons de cette divergence. Il est intéressant de noter que ce degré exceptionnellement élevé de CPUE observée et le déclin abrupt correspondant de 60 % de l'indice de la biomasse exploitable dans cette DÉ en 2009 sont demeurés mal expliqués par l'évaluation du stock de crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador. L'augmentation de la biomasse/CPUE a été associée à un pic simultané de l'abondance des prérecrues dans le relevé au chalut, mais elle n'a été fortement reliée à aucun des paramètres climatiques utilisés pour prédire la biomasse et la CPUE dans l'évaluation ces dernières années (Mullowney *et al.* 2017). On ne connaît pas non plus les raisons des autres disparités entre les taux de prise prédits par le modèle et observés, comme au milieu des années 2000 dans les DÉ 3LNO et 3Ps.

Rejets de la pêche

Théoriquement, trois composantes clés de la population de crabe des neiges devraient composer la majorité des rejets : les femelles, les mâles adultes de taille non réglementaire et les mâles prérecrues à carapace molle. L'inclusion des rejets à titre de paramètre important dans cette analyse vise à protéger globalement ces trois composantes de la population importantes sur le plan biologique contre la mortalité due à la pêche. La réduction au minimum des rejets permet aussi de maximiser l'efficience de la pêche en limitant la mortalité due aux manipulations des crabes non conservés.

La pêche impose une certaine mortalité des crabes due aux rejets, mais on n'en connaît pas les niveaux exacts. Cette mortalité constitue un gaspillage à la fois biologique et économique. L'environnement hors de l'eau est très différent du milieu froid, sombre, profond et relativement stable occupé par le crabe des neiges. Le temps passé hors de l'eau, la température de l'eau et de l'air, la vitesse du vent, la lumière du soleil, la dureté de la carapace et la taille du crabe ont tous une incidence sur le niveau de mortalité des crabes des neiges rejetés (Miller 1977, Dufour *et al.* 1997; Grant 2003). Les crabes à carapace molle subissent sans doute davantage de dommages et de mortalité que ceux dont la carapace est dure. Une exposition prolongée sur le pont et le fait de laisser tomber les crabes ou de les jeter entraîne la perte de membres et des niveaux de mortalité plus élevés résultant de la capture et du rejet des animaux (Grant 2003). Une étude récente de l'est de la mer de Béring en Alaska a prédit une mortalité de 5 % environ seulement des crabes des neiges rejetés (Urban 2015), une estimation quasiment identique à celle de Grant (2003) pour le crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador. Cependant, Grant (2003) a précisé que cette estimation basse concernait les crabes soumis aux meilleures pratiques de manipulation, à savoir des distances de rejet minimales et un temps d'exposition réduit sur le pont, et a montré que les taux de mortalité augmentaient considérablement avec de mauvaises pratiques de manipulation. En outre, ces deux études portaient avant tout sur les crabes à carapace dure et les deux auteurs ont pris le soin d'indiquer qu'ils n'avaient pas tenu compte de la mortalité latente non observée dans leurs études. Il est fort probable que les taux de mortalité sont plus élevés chez les crabes à carapace molle, surtout qu'on les voit souvent flotter près de la surface pendant des périodes prolongées après avoir été rejetés (observations personnelles).

La gestion de la pêche du crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador s'efforce déjà de protéger les prérecrues à la carapace molle contre la mortalité induite par les rejets. Un protocole a été mis en place en 2004, en vertu duquel les petits quadrillages sont fermés à la pêche lorsque l'on observe que les crabes à carapace molle constituent 15 ou 20 % des prises, selon la DÉ (Mullowney *et al.* 2017). En étendant aux femelles et aux mâles adultes de taille non réglementaire cette protection liée aux rejets, le présent cadre AP/CD renforce la protection globale inhérente à la gestion de la ressource.

La seule source fiable de données sur les rejets vient de la couverture assurée par les observateurs en mer. Les estimations des rejets dans les journaux de bord sont jugées mauvaises, avec de fréquentes observations de rejets nuls et peu de précisions dans les estimations existantes. Cependant, les données transmises par les observateurs en mer présentent des lacunes, car la couverture est faible et non représentative. Les niveaux de couverture par les observateurs peuvent être variables, mais une année normale, un observateur est présent dans moins de 5 % des sorties de pêche et moins de 0,4 % des prises sont échantillonnées (fig. 14). De plus, la distribution spatiotemporelle représentative de la couverture limitée est souvent compromise par les multiples demandes imposées au programme des observateurs, comme les déploiements ciblés à des fins de mise en application ou les déploiements non aléatoires pour faire respecter le protocole concernant les crabes à carapace molle.

Pour tenter de tenir compte des problèmes spatiotemporels liés aux données des observateurs, les pourcentages des rejets ont été modélisés dans un modèle mixte linéaire généralisé (MMLG) pour la dernière évaluation du stock (éq. [4]). Le modèle binomial avec une fonction de lien logit a calculé la régression des données brutes des observations des poids rejetés à partir des différents traits de pêche. La variable-réponse était le rapport des rejets sur les prises totales. Les effets fixes étaient le temps (par périodes de cinq jours) et les durées d'immersion (jours), et les interceptions aléatoires pour le temps dans les regroupements année*ZGC étaient incluses. Comme dans le modèle de normalisation de la CPUE, la variable spatiale ZGC représente les différentes zones de gestion dans chaque DÉ. Toujours comme dans le modèle de la CPUE, le modèle de normalisation des rejets était pondéré par l'effort (casiers).

[4]
$$N_{discard,t,y,D} = Binom(N_{caught,t,y,D}, p_{t,y,D})$$
$$logit(p_{t,y,D}) = \alpha_{Discard,y,D} + \beta_{Day,y,D} \cdot Day_{t,y,D} + \beta_{Soak} \cdot Soak_{t,y,D}$$
$$\alpha_{Discard,y,D} = N(\bar{\alpha}_{Discard}, \sigma_{\alpha}^2)$$
$$\mathrm{B}_{Day,y,D} = N(\bar{\beta}_{Day}, \sigma_{Day}^2)$$

Les observateurs estiment les rejets de deux manières; tout d'abord, en observant visuellement les activités de pêche, ensuite en mesurant physiquement les crabes. Afin de maximiser la précision, les mesures physiques ont été modélisées, en classant les crabes femelles, de taille non réglementaire ou à carapace molle comme des rejets et les mâles de taille réglementaire et à carapace dure comme prises conservées.

Les pourcentages de rejets ont été extrêmement variables annuellement dans la plupart des DÉ (fig. 15). Dans la DÉ 2HJ, deux épisodes majeurs de rejets importants ont eu lieu depuis 1999 : un en 2002-2004, où le pourcentage des prises rejetées a atteint 55 % et un autre en 2011-2014 où les rejets étaient supérieurs ou égaux à 30 % certaines années. Dans la DÉ 3K, les rejets augmentent régulièrement depuis quelques années, pour atteindre près de 40 % des prises en 2017. Dans la DÉ côtière 3L, ils sont descendus à des creux de la série chronologique, inférieurs à 20 %, depuis quatre ans. Un niveau semblable inférieur à 20 % a été relevé dans la série chronologique de la DÉ 3LNO, mais il n'a jamais été observé dans la DÉ 3Ps, où les rejets sont toujours supérieurs à 20 % des prises et ont atteint un niveau exceptionnellement élevé de 50 % environ ces deux dernières années.

Aux fins de la présente analyse, nous avons préparé un modèle prédictif des rejets (MMLG) de manière à renforcer l'utilité de l'avis fourni à partir des extrants du cadre AP/CD. Ce modèle binomial avec un lien logit a calculé la régression du rapport des rejets sur les prises totales par rapport aux effets fixes de la CPUE, de la semaine de pêche moyenne et de l'indice de la biomasse exploitable tiré du dernier relevé CPS au casier. Une interception aléatoire a été intégrée et toutes les variables explicatives ont été traitées comme des effets aléatoires par rapport au sujet de la DÉ. Pour les projections en 2018, on a utilisé les valeurs projetées de la CPUE propres à la DÉ, tirées du modèle de projection de la CPUE, et supposé que les semaines de pêche moyennes étaient les mêmes qu'en 2017. Pour la projection des rejets qui est présentée (fig. 16), on a utilisé le statu quo des débarquements pour prédire la variable d'intrant de la CPUE. La variabilité des moyennes projetées était généralement grande et les intervalles de confiance de 95 % estimés par le modèle, généralement importants. Cela pourrait refléter beaucoup de facteurs, notamment le niveau bas général et la nature sporadique de l'échantillonnage par les observateurs. Aucune tendance ne s'est dégagée des résiduels du modèle dans la plupart des DÉ, mais depuis quelques années, le modèle a systématiquement surestimé les rejets dans la DÉ côtière 3L (figures 16-17). Il faudra surveiller étroitement le rendement de ce modèle dans les années à venir. Quoi qu'il en soit, à l'heure actuelle, le modèle est capable de prédire avec exactitude les tendances directionnelles des rejets dans ses intervalles de confiance de 95 % dans la plupart des DÉ la plupart des années. L'utilité croissante des données des observateurs pour la gestion de la pêche du crabe des neiges selon ce cadre nécessitera sans doute d'améliorer le programme des observateurs, en particulier d'accroître la couverture et de la rendre plus représentative.

Les deux modèles prédictifs élaborés pour ce cadre AP permettent ensemble de produire des conseils de gestion fondés sur des scénarios, au sujet des résultats possibles pour la CPUE et les rejets l'année suivante. Il est possible de modifier les débarquements et les taux d'exploitation connexes pour en tirer des avis fondés sur des probabilités sur les résultats possibles de la CPUE et les rejets à différents niveaux de pêche.

POINTS DE RÉFÉRENCE

Couvées d'œufs

La première approche employée pour mettre au point une proposition de PRL pour les proportions des couvées d'œufs était le rétablissement de la ressource. Nous définissons « $E_{recovery}$ » comme le plus bas niveau observé des couvées d'œufs à partir duquel la population s'est rétablie pour demeurer productive. « Productive » est la CPUE de la pêche qui permet d'atteindre un niveau supérieur ou égal à 5 kg/casier huit à dix ans plus tard (la durée prévue pour qu'un crabe parvienne à la taille réglementaire). Le terme « productive » est placé dans le contexte où toute la période entre 1995 et aujourd'hui est une période productive pour le crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador, sans biomasse exceptionnellement élevée connue auparavant. Ainsi, même si 5 kg/casier peut sembler un point de référence bas pour certaines DÉ, c'est un niveau au-dessus duquel nous ne pensons pas que des pêches soutenues à grande échelle auraient pu se maintenir dans le passé pendant des périodes moins productives.

L'examen des relevés au chalut et au casier a permis de déterminer que $E_{recovery}$ est de 0,61, la plus basse des deux estimations tirées des relevés au chalut et au casier. Il s'agit de la proportion de couvées d'œufs pleines observées dans la DÉ 2HJ en 2006 (fig. 18), qui a donné par la suite la pêche de 2014-2016 avec une CPUE de 7 à 10 kg/casier, un niveau proche de la moyenne à long terme (fig. 7). Un niveau bas semblable des couvées d'œufs a été enregistré dans la DÉ 3Ps en 2002, qui a produit ensuite la CPUE de la pêche de 2010-2012 supérieure à 10 kg/casier. Les relevés au casier ont associé la proportion historiquement la plus faible des

couvées d'œufs de 0,73 en 2005 (baie Notre Dame) à des CPUE de 4,8-6,0 kg/casier en 2013-2015 (non illustrées). Cependant, des préoccupations ont été exprimées quant à la sur-déclaration de l'effort et à la sous-déclaration des prises et la sous-estimation de la CPUE qui en a résulté dans les journaux de bord relatifs à cette ZGC ces dernières années. Ce problème est réglé séparément. On ne sait pas de quelle manière les récents déclins de la plénitude des couvées d'œufs dans les relevés au chalut des DÉ 3K et 3LNO (fig. 18) et dans les relevés au casier de la baie Fortune et de la baie White (fig. 19) se traduiront dans la future pêche, mais il faudra surveiller les résultats et réviser $E_{recovery}$ au besoin.

La seconde approche pour élaborer un éventuel PRL pour les couvées d'œufs consistait à examiner le premier et troisième écarts-types (sd) par rapport aux moyennes de toutes les observations de plénitude des couvées dans les relevés au chalut et au casier, respectivement. Nous appelons cette approche « $E_{history}$ ». La logique sous-jacente repose sur la règle des 68-95-99,7 pour les distributions normales, où 68 % des observations se situent dans 1 sd de la moyenne et 99,7 % d'entre elles dans 3 sd de la moyenne. De ce fait, les observations en-dessous de 3 sd ne se produiraient vraisemblablement pas uniquement par hasard. L'analyse a permis de déterminer que $E_{history}$ était de 0,59 pour les relevés au chalut (fig. 20) et de 0,64 pour les relevés au casier (fig. 21). Par extension, on a utilisé les niveaux de 1 sd comme valeurs proposées pour les références supérieures du stock pour les couvées d'œufs. Ces valeurs étaient de 0,79 et de 0,83 pour les relevés au chalut et au casier, respectivement (figures 20-21).

Étant donné l'uniformité des approches et des relevés, un PRL de 0,60 a été proposé et accepté pour l'indice de la plénitude des couvées d'œufs et 0,80 comme point de référence pour le PRS.

CPUE de la pêche

La première approche que nous avons adoptée pour établir un PRL pour la CPUE de la pêche était le concept de « $C_{recovery}$ ». La définition de « rétablissement » était celle utilisée pour les couvées d'œufs, avec le rétablissement à un niveau de CPUE supérieur ou égal à 5 kg/casier de 9 à 11 ans plus tard. La logique est que la descendance des crabes participant à la reproduction une année donnée serait pêchée de 9 à 11 ans plus tard. L'année supplémentaire par rapport aux couvées d'œufs représente l'année où le mâle aurait inséminé la femelle, les œufs se développant l'année suivante. $C_{recovery}$ a été fixé à 3,3 kg/casier d'après la CPUE dans la DÉ 2HJ en 2004 et la CPUE comprise entre 7,7 et 9,9 kg/casier de 2013 à 2015 (fig. 22).

La deuxième approche utilisée pour explorer des points de référence pour la CPUE était « $C_{history}$ ». Ils étaient définis comme les 40^{e} et 80^{e} centiles des taux de prise annuels dans la pêche depuis 1995. La DÉ 3 LNO a exclue de l'analyse, car la CPUE dans cette division était inhabituellement élevée par rapport aux autres DÉ pendant toute la série chronologique. L'approche des 40^{e} et 80^{e} centiles a été appliquée conformément aux recommandations du document d'orientation sur l'élaboration des cadres AP/CD (MPO 2009), ces mesures étant les cibles privilégiées par rapport à un niveau élevé pour un paramètre donné en l'absence d'autre raisonnement justifiable sur le plan biologique (« l'approche 40/80 »). D'après l'analyse, le PRL de $C_{history}$ (40^{e} centile) était de 7,7 kg/casier et le 80^{e} centile associé à un PRS était de 11,3 kg/casier (fig. 23).

Une troisième approche pour explorer des points de référence pour la CPUE était « $C_{highlow}$ ». Pour un PRL, cette valeur était définie comme un niveau moyen entre les DÉ, à partir duquel la ressource s'est rétablie par la suite. La DÉ extracôtière 3LNO a été exclue de l'analyse en raison des valeurs inhabituellement élevées de la CPUE dans toute la série chronologique par rapport aux autres DÉ. Le PRL $C_{highlow}$ était de 5,0 kg/casier (fig. 24). Pour le PRS, on a calculé

le 80^{e} centile d'une moyenne de la valeur élevée de la série chronologique pour chaque DÉ. Ce niveau du PRS était de 11,1 kg/casier.

En guise de quatrième approche pour établir un PRL, on a utilisé comme indice de « $C_{saturate}$ » les 40^{e} et 80^{e} centiles du point de saturation modélisé de la CPUE (= 14,5 kg/casier) pour la période 1995-2017. L'analyse a permis de déterminer que $C_{saturate}$ était de 5,8 kg/casier pour le PRL (40^{e} centile) et de 11,6 kg/casier pour le PRS proposé (80^{e} centile) (fig. 25).

La cinquième approche utilisée pour déterminer une base en vue d'établir un PRL pour la CPUE reposait sur l'efficience de la pêche. Cet indice, $C_{efficient}$, était fondé sur la CPUE par rapport à un indice de « recrue par prérecrue » (RPP). Le RPP était défini comme suit :

[5] $$RPP = P2ma[y-1]/R2ma[y]$$

où P2*ma* représente l'abondance de la moyenne mobile sur deux périodes des prérecrues mâles (adolescents avec une CW de 65-95 mm), *R2ma* la moyenne mobile (mâles à carapace neuve d'une CW ≥ 95 mm), y l'année du relevé en cours et y-1 l'année du relevé précédent.

L'indice RPP présume qu'une prérecrue mâle deviendra une recrue dans l'année suivante ou les deux années suivantes. En réalité, plusieurs facteurs, comme le saut de mue (Dawe *et al.* 2012) pourraient démentir cette hypothèse. Le signal général qui émerge de cet indice est néanmoins considéré comme reflétant les niveaux relatifs du gaspillage dans la pêche. L'indice RPP affichait une corrélation positive avec la CPUE dans toutes les DÉ (fig. 26), ce qui permet de penser que l'efficience de la pêche est plus grande lorsque la CPUE est élevée. Un modèle linéaire généralisé (MLG) avec une distribution normale et un lien log a servi à modéliser la relation entre le RPP et la CPUE. Afin de sélectionner d'éventuelles cibles de la CPUE pour les points de référence, on a calculé et tracé les 40^{e} et 80^{e} centiles de l'indice RPP, les points d'intersection de la courbe de régression formant la base du PRL (CPUE=3,8 kg/casier) et du PRS proposés (CPUE=16,0 kg/casier) (fig. 27).

La limite inférieure moyenne de la CPUE entre les quatre méthodes était de 5,1 kg/casier. D'après l'uniformité entre les techniques, le PRL proposé et accepté pour la CPUE était de 5,0 kg/casier. La moyenne du PRS entre les trois analyses était de 12,5 kg/casier. Nous proposons un PRS de 12,5 kg/casier afin de différencier les zones de prudence et saines du cadre AP/CD.

Rejets de la pêche

Deux analyses ont été effectuées pour explorer les bases des points de référence des rejets : une analyse $D_{history}$, dans laquelle on a calculé les 40^{e} et 80^{e} centiles des niveaux de rejets entre toutes les DÉ et les années, et une analyse $D_{efficient}$ pour calculer la régression de l'indice RPP par rapport aux rejets en pourcentages.

L'analyse D_{normal} a produit un 40^{e} centile de 18 % de rejets et un 80^{e} centile de 33 % de rejets, qui a été associé à un PRL (fig. 28).

Une relation négative entre l'indice RPP et les rejets en pourcentages a été relevée dans toutes les DÉ (fig. 29). L'intersection des 40^{e} et 80^{e} centiles de l'indice RPP le long d'une courbe de régression produite par un modèle MLG (distribution normale, lien log) a servi à établir des points de référence potentiels (fig. 30). Le PRL se produisait pour des rejets de 28 % et le PRS pour des rejets de 11 %.

Compte tenu de l'uniformité entre les deux analyses, un PRL pour les rejets à 30 % a été accepté et on a proposé une valeur de 15 % pour le PRS.

RÈGLES DE CONTRÔLE DES PRISES

Taux d'exploitation de référence

Les règles de contrôle des prises (RCP) portent généralement sur les taux d'exploitation et plusieurs analyses ont donc été réalisées pour examiner les relations entre les indices du taux d'exploitation (ERI) et les paramètres principaux de la CPUE et des rejets. Cependant, nous avons d'abord préparé des modèles pour étudier l'efficacité des ERI de contrôle dans un cadre CD.

La ressource en crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador est fortement régulée par des facteurs climatiques depuis plus de deux décennies (Mullowney *et al.* 2014, 2017). Les impacts de la pêche n'ont pas été démontrés aussi clairement que les relations entre la biomasse du stock et la CPUE de la pêche avec des variables climatiques décalées. L'oscillation nord-atlantique décalée affiche une forte corrélation positive avec la future CPUE dans toutes les DÉ (fig. 31). Cette relation a été étudiée dans une régression de la CPUE selon un MLG simple (distribution normale, lien d'identité) par rapport à l'oscillation nord-atlantique décalée, toutes les DÉ étant regroupées. Le modèle a montré que l'oscillation nord-atlantique présente une grande capacité à prédire la future CPUE ($p<0,0001$, tableau 1), sans tendance dans les résiduels (fig. 32) et une statistique d'écart à l'échelle de 1,02 indiquant une bonne correspondance.

On a ensuite calculé la régression des résiduels du modèle initial par rapport aux ERI, à nouveau en regroupant les DÉ et les années et à nouveau dans un MLG simple avec une distribution normale et un lien d'identité. Cette analyse étudiait essentiellement si l'ERI était une variable explicative des différences entre les CPUE projetées par l'oscillation nord-atlantique et les CPUE réalisées, en sachant *a priori* qu'il existait une relation négative entre les deux variables dans toutes les DÉ (fig. 33). Le modèle a révélé une forte corrélation négative entre l'ERI et les écarts de la CPUE par rapport aux valeurs projetées à l'aide de l'oscillation nord-atlantique ($p<0,0001$, tableau 2). Ici encore, aucune tendance ne s'est dégagée des résiduels modélisés et l'estimation de l'écart à l'échelle, de 1,02, suggérait une bonne correspondance du modèle.

Un MLG simple (distribution normale, lien d'identité) intégrant les effets principaux et d'interaction de la NAO décalée (fixée à sept ans dans toutes les DÉ) et l'ERI en tant que variables indépendantes pour la variable-réponse de l'indice de la biomasse exploitable a montré une forte interaction significative ($p<0,001$) des deux variables explicatives dans toutes les DÉ sauf la DÉ côtière 3L (tableau 3). Dans le cas de la DÉ côtière 3L, l'ERI était le seul effet principal significatif dans le modèle ($p<0,0001$). Ce modèle simple a prédit avec exactitude les indices de la biomasse exploitable dans les intervalles de confiance de 95 % pour la plupart des années dans toutes les DÉ (fig. 34).

Une régression de la CPUE sur l'ERI selon un MLG simple a montré que la relation entre la CPUE et l'ERI était fortement négative (fig. 35). Les valeurs prédites par le MLG croisaient les niveaux proposés pour les points de référence de la CPUE (5 et 12,5 kg/casier) aux ERI de 0,79 et 0,18, respectivement. D'après les données historiques, on observe que la ressource ne s'est jamais trouvée dans la zone saine de la CPUE proposée (>12,5 kg/casier).

Il est clair que l'ERI de la pêche exerce une forte influence sur la biomasse exploitable et a un impact majeur sur l'emplacement de la pêche par rapport aux zones d'état du stock. Cela explique qu'il soit un paramètre principal pour les règles de contrôle des prises. Il n'est pas possible de contrôler les impacts de l'autre facteur principal connu pour réguler la biomasse exploitable - le climat.

En étudiant les niveaux de référence pour l'ERI dans les règles de contrôle des prises, nous avons d'abord examiné la relation entre les résiduels de la CPUE prédite par la NAO et l'ERI afin de déterminer si des ruptures se produisant à un niveau d'exploitation donné produiraient des résiduels positifs [négatifs] de la CPUE. L'analyse a révélé des ruptures à ERI=0,21 et 0,63 pour les résiduels positifs [négatifs] de la CPUE (figure 36). Nous avons associé ces deux points aux taux d'exploitation de référence potentiels au PRL et au PRS.

Nous avons ensuite examiné la relation entre la variation annuelle de la CPUE par rapport à l'ERI afin de déterminer des cibles appropriées pour l'ERI dans les RCP. La relation entre ces deux variables était négative dans toutes les DÉ (fig. 37), ce qui indique que des ERI élevés sont couramment associés à des réductions subséquentes de la CPUE. Nous avons modélisé la relation dans un MLG (distribution normale, lien d'identité) et cherché des ruptures pour déterminer les niveaux des ERI qui favoriseraient des variations nulles ou négatives de la CPUE. L'analyse a montré qu'en moyenne, un ERI de 0,30 ne produisait aucune variation de la CPUE, mais que les ERI supérieurs à 0,62 étaient associés à des réponses négatives de la CPUE (fig. 38). Nous les avons identifiés comme les taux d'exploitation de référence à associer au PRL et au PRS.

Enfin, dans notre étude de cibles pour les taux d'exploitation de référence, les RCP, nous avons examiné la relation entre les variations des niveaux de rejets et l'ERI. Cette relation était neutre ou positive dans toutes les DÉ (fig. 39). Un MLG (distribution normale, lien d'identité) a produit une relation positive, quoiqu'avec un degré élevé de variabilité dans les valeurs prévues (fig. 40). En déterminant les points de rupture associés à une variation nulle ou positive des niveaux de rejets, nous avons déterminé des ERI de 0,20 et 0,65, que nous avons associés aux taux d'exploitation de référence potentiels pour le PRL et le PRS.

Étant donné l'uniformité des estimations liées à un taux d'exploitation de référence fondé sur l'ERI par rapport à la CPUE projetée à l'aide de la NAO (ERI=0,63), des variations de la CPUE (ERI=0,62) et de celles des rejets (ERI=0,65), nous avons recommandé un taux d'exploitation de référence de 0,63 ERI au PRS. Un taux d'exploitation de référence de 0,24 est proposé comme ERI maximal lorsque la ressource se trouve dans la zone critique (c.-à-d. au PRL ou en-dessous) d'après l'estimation moyenne des trois analyses. Ces taux d'exploitation de référence en tant qu'ERI sont provisoires. L'estimation de la biomasse continue d'être améliorée et on prévoit que les estimations ponctuelles annuelles changeront avant la prochaine évaluation. Il est donc admis qu'il faudra revoir ces taux d'exploitation de référence provisoires au moment de la révision de la biomasse et des ERI subséquents avant de les adopter officiellement dans un cadre AP/CD.

Les impacts de la pêche se font sentir de nombreuses manières, directes et indirectes, dans cette pêche. Des ERI élevés sont associés à une CPUE basse et à des rejets élevés. Cela traduit une détérioration de la biomasse résiduelle dans les zones fortement exploitées (Mullowney *et al.* 2017). Une exploitation perpétuellement élevée rend la pêche fortement dépendante du recrutement à venir chaque année. C'est une approche risquée compte tenu de la possibilité que des événements imprévisibles aient une incidence négative sur la productivité de la ressource ou le recrutement dans la biomasse exploitable une année donnée. Historiquement, les zones où la pêche a donné les meilleurs résultats pour ce qui est de conserver une CPUE élevée et des niveaux de rejets bas (les DÉ 3LNO et côtière 3L) ont toujours été associées à une forte biomasse résiduelle et des ERI relativement bas (Mullowney *et al.* 2017).

Aucune pêche du crabe des neiges n'a jamais, pour autant qu'on sache, induit d'impacts graves prolongés sur la capacité de reproduction des populations sauvages. Cependant, l'exploitation excessive des mâles en compétition pour l'accouplement peut probablement entraîner une

carence en sperme. Cela a été démontré dans des populations vivant dans des réservoirs, où le prélèvement de trop de mâles a provoqué une carence en sperme chez les femelles (Rondeau et Sainte-Marie 2001). Malgré la résilience biologique inhérente créée par le complexe système d'accouplement de l'espèce, en fin de compte, la probabilité est faible qu'un mâle puisse féconder la production d'œufs sur toute la vie d'une femelle (Rondeau et Sainte-Marie 2001). Les gros mâles reproducteurs en compétition font partie intégrante du succès de la reproduction de la population et il est indispensable de leur offrir une protection suffisante dans tous les AP/CD axés sur la prudence biologique.

Options complémentaires

Bien que des taux d'exploitation de référence aient été proposés, il existe plusieurs mesures de gestion qui ne sont pas directement liées à l'ERI pour réduire le risque de causer des dommages à la population. Même si le contrôle de l'ERI est une mesure centrale qui aura probablement des effets directs et indirects sur les trois paramètres principaux de l'état du stock, il est possible d'adopter des mesures de gestion complémentaires relatives aux paramètres précis utilisés pour classer la population dans une zone. Les mesures de gestion pouvant être prises (ou combinées) pour des paramètres précis sont indiquées dans le tableau 4, mais cette liste n'est pas considérée comme exhaustive. Ces mesures faciliteraient sans doute des réponses plus rapides des résultats souhaités que le seul contrôle des taux d'exploitation de référence. Nous en présentons l'exemple de l'augmentation du maillage comme stratégie possible pour réduire rapidement le niveau toujours élevé des rejets dans la pêche dans la DÉ 3Ps.

La DÉ 3Ps est une zone unique dans le sens où elle abrite une proportion inhabituellement élevée de petits crabes mâles ayant terminé leur mue (Dawe *et al.* 2012, Mullowney *et al.* 2017). On pense que cette situation s'explique par les déplacements ontogénétiques inhabituellement réduits dans le sens de la pente et le fait que les crabes sont perpétuellement bloqués dans l'eau froide, les bords de la pente profonde qui entourent la DÉ étant trop chauds pour que les crabes puissent y habiter (Mullowney *et al.* 2018). Cette zone contraste avec la plupart des autres zones de l'aire de répartition du stock dans les eaux de Terre-Neuve-et-Labrador, où les crabes parcourent de grandes distances après s'être fixés dans les parties froides peu profondes des eaux chaudes profondes en tant qu'adolescents, probablement pour grossir plus facilement en muant dans des eaux chaudes (Mullowney *et al.* 2018). En raison de cette situation unique et de la composition inhabituelle de la population, les rejets dans la DÉ 3PS sont généralement dominés par des mâles de taille non réglementaire et à vieille carapace (Mullowney *et al.* 2017), ce qui laisse supposer qu'il s'agit de petits crabes adultes ayant terminé leur mue. Comme il y a relativement peu de gros mâles adultes dans la population, ces crabes rejetés sont probablement très importants pour le succès de l'accouplement et la capacité de reproduction de la population de cette DÉ. Il est donc conseillé de renforcer la protection de ces crabes, qui est encouragé dans le présent cadre AP/CD. On pourrait probablement obtenir rapidement le résultat souhaité en augmentant le maillage réglementaire.

Les mesures proposées qui visent à raccourcir ou à décaler les saisons cherchent à favoriser une CPUE élevée et un niveau bas de rejets. Au cours de la dernière décennie, les saisons qui se sont prolongées après juin ont généralement été associées à une CPUE basse et des rejets élevés dans la plupart des DÉ, en particulier dans celles où la composante résiduelle de la biomasse exploitable est petite (Mullowney *et al.* 2017). Cela reflète sans doute la capturabilité accrue des crabes moins compétitifs, comme ceux qui viennent de muer, en l'absence de la concurrence des gros mâles à carapace dure. Une récente analyse a montré qu'entre juillet et novembre, la teneur en chair de ces crabes à carapace neuve et molle est faible (données

inédites) et représente un problème pour l'efficience de l'extraction de la ressource. Elle traduit aussi un gaspillage biologique dans le sens où elle impose inutilement une mortalité accrue et probablement élevée des prérecrues qui auraient contribué à la reproduction les années suivantes.

Les mesures proposées visant des restrictions de la profondeur de la pêche pourraient être bénéfiques sur plusieurs plans. Par exemple, on sait que l'accouplement a lieu le plus souvent pendant l'hiver et au printemps dans les zones peu profondes (Mullowney *et al.* 2018). L'interdiction de la pêche en eaux peu profondes au printemps pourrait contribuer à protéger les lieux de frai et à favoriser des taux de fécondation élevés. Dans le passé, on a également recouru à des restrictions de la profondeur pour limiter les rejets. Dans certaines baies côtières des DÉ 3K et côtière 3L, au lieu d'appliquer le protocole relatif aux carapaces molles axé sur le quadrillage, on a fermé des zones profondes à la pêche lorsque les saisons ont une incidence importante et prolongée sur les animaux à carapace molle. Cette pratique est adaptée à la dynamique des déplacements du crabe des neiges, puisqu'on sait que les gros mâles adolescents muent souvent en eaux profondes (Mullowney *et al.* 2018).

ÉTAT DU STOCK

L'évaluation montre que la ressource se situe au-dessus du PRL pour ce qui est des couvées d'œufs dans toutes les DÉ (fig. 41). La ressource (pêche) est au-dessus du PRL pour la CPUE dans toutes les DÉ, sauf la DÉ 3Ps. Les projections des estimations ponctuelles de la CPUE en 2018 se trouvent dans la zone de prudence dans toutes les DÉ, sauf la DÉ 3Ps. En ce qui concerne les rejets, la ressource (pêche) est évaluée comme étant dans la zone critique dans les DÉ 3K et 3Ps et dans les zones saines ou de prudence dans toutes les autres DÉ. Pour 2018, on projette que toutes les DÉ, sauf la DÉ 3Ps, seront dans la zone de prudence, mais la DÉ 3Ps restera dans la zone critique.

DISCUSSION

PROBLÈMES LIÉS À LA QUALITÉ DES DONNÉES ET À L'APPLICATION DES UNITÉS SPATIALES

Ce cadre AP/CD à plusieurs indicateurs est appliqué à l'échelle spatiale de la division d'évaluation. Il ne peut pas et ne devrait pas être appliqué aux échelles spatiales plus petites des ZGC à cause des données manquantes et des incohérences avec les échelles spatiales plus grandes auxquelles fonctionnent les indicateurs de la dynamique des déplacements (Mullowney *et al.* 2018) et les indicateurs synchrones de la ressource comme la CPUE (Mullowney *et al.* 2017). Il est conseillé à la gestion d'étudier comment traiter le scénario probable d'une ZGC donnée dans laquelle l'avis sur l'état du stock ne sera pas respecté pour une DÉ précise une année.

Les données sur les rejets proviennent de la couverture par les observateurs en mer pendant la pêche. Les problèmes liés à la qualité des données découlant du programme des observateurs ne sont pas associés à la qualité du travail des observateurs qui échantillonnent les crabes en mer. Ils portent plutôt sur l'administration du programme. Le pourcentage des prises observées est à des creux de la série chronologique ou proches de ceux-ci dans chaque DÉ, avec moins de 0,4 % des prises échantillonnées. Il faut intensifier le niveau de présence des observateurs afin de déterminer, modéliser et prédire les rejets plus précisément. De plus, il faut organiser une couverture représentative et aléatoire chaque fois qu'elle est possible pour que les résultats soient exacts et représentatifs de toute la DÉ. À l'avenir, un paramètre d'évaluation fondé sur

les rejets obligera à mettre en place un niveau de présence des observateurs suffisant et représentatif dans toutes les DÉ.

Enfin, il est fortement conseillé d'améliorer la qualité des données pour tous les paramètres d'évaluation dans la DÉ 4R3Pn. Parallèlement à la nécessité susmentionnée d'avoir un niveau uniforme de présence des observateurs, pour améliorer la qualité des données dans la DÉ 4R3Pn, il faudrait consigner les données sur la plénitude des couvées d'œufs des femelles pendant les relevés multispécifiques au chalut réalisés par d'autres régions du MPO ou le relevé CPS au casier. Il faudrait également mieux faire respecter la condition de permis exigeant de retourner les journaux de bord de la pêche commerciale afin d'évaluer correctement cette DÉ.

APPLIQUER UNE SAINE GESTION TOUT EN RECONNAISSANT LE RISQUE DE DOMMAGES SÉRIEUX

L'historique du régime de gestion de la pêche du crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador témoigne de la gestion fondamentalement saine de la ressource. Grâce aux pratiques de gestion actuelles et passées, la pêche n'a jamais, à notre connaissance, causé de dommages sérieux prolongés ou irréversibles à la ressource. Par-dessus tout, les casiers à grandes mailles utilisés constituent une mesure de gestion prudente (Dawe et Mullowney 2016). Cependant, sous le régime actuel, la pêche risque encore de causer des dommages biologiques graves puisqu'il n'existe pas de limites supérieures des taux de récolte définies explicitement. En outre, avec les pratiques passées et actuelles, l'extraction de la ressource a été particulièrement inefficace pendant de longues périodes, comme le montrent les niveaux épisodiques très élevés des rejets dans plusieurs DÉ.

Malgré l'ensemble actuel de mesures de gestion fondamentalement prudentes en principe, un cadre AP/CD est utile. Sans des points de référence et les taux d'exploitation de référence correspondants, la ressource risque encore d'être exploitée à des niveaux exceptionnellement élevés, ce qui aurait à son tour des impacts négatifs sur sa capacité de reproduction. En fait, comme les ERI utilisés actuellement dans l'évaluation sous-estiment probablement les niveaux réels d'exploitation, on admet que dans l'ensemble, la pêche du crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador exploite la ressource beaucoup plus agressivement que dans les autres régions où cette pêche est pratiquée. Les estimations prudentes des ERI sont généralement supérieures à 50 %, en particulier lorsque la biomasse est basse. De tels taux d'exploitation sont bien en-dessus de ceux autorisés dans le sud du golfe du Saint-Laurent, même si la ressource est bien à l'intérieur de la zone saine (MPO 2010), et sont délibérément évités, quel que soit l'état de la ressource le long de l'est du plateau néo-écossais (MPO 2015).

Les zones chaudes (température au fond) comme les DÉ 2HJ et 3K sont considérées comme moins productives pour le crabe des neiges (Mullowney *et al.* 2014). Le long de l'est du plateau néo-écossais, une autre zone chaude, la stratégie pour l'extraction de la ressource consiste à maintenir un taux d'exploitation bas (cible de 20 % de l'ERI) en tout temps afin de favoriser la stabilité et la résilience de la biomasse. La situation dans les DÉ 2HJ et 3K, où le niveau de la biomasse résiduelle dans la population est bas depuis longtemps (Mullowney *et al.* 2017), est unique par rapport aux populations de crabe des neiges les plus pêchées dans le monde. Le Canada atlantique, connaît un réchauffement océanique global à grande échelle depuis une décennie (MPO 2017), au détriment de la productivité du crabe des neiges. Nonobstant les différences spatiotemporelles des taux de réchauffement dans les régions et entre elles, les pêches du crabe des neiges ont été moins stables dans les eaux de Terre-Neuve-et-Labrador, où se sont produites les plus importantes réductions (tant en proportions qu'en chiffres absolus) de la biomasse globale. Cette situation est associée à un niveau d'extraction comparativement agressif.

Ces dernières années, les taux d'exploitation dans les plus grandes zones productrices (les DÉ extracôtière et côtière 3LNO) ont atteint des niveaux exceptionnellement élevés par rapport aux normes historiques, traduisant des réductions plus importantes de la biomasse que des débarquements et accroissant grandement le risque de résultats biologiques négatifs dans ces zones. Les pêches n'ont pas été en mesure de prélever leurs quotas dans de nombreuses ZGC récemment. Ainsi, il est possible dans plusieurs zones que les pêches capturent pratiquement tous les mâles exploitables disponibles une année donnée. La carence en sperme résultant de l'exploitation excessive des gros mâles est une possibilité réelle. Comme il a déjà été indiqué, elle a été observée chez des crabes des neiges vivant dans des réservoirs (Rondeau et Sainte-Marie 2001). De plus, une carence en sperme a été induite dans les populations sauvages ciblées par d'autres pêches du crabe visant uniquement les mâles et fortement exploitées, comme le crabe commun du Chili (*Metacarcinus edwardsii*) (Pardo *et al.* 2015, 2017), le crabe bleu de la côte Est des États-Unis (*Callinecetes sapidus*) (Hines *et al.* 2003) et le crabe de cocotier (*Birgus latro*) (Sato *et al.* 2010). Certaines données suggèrent également qu'une carence en sperme aurait pu se produire en même temps que l'effondrement d'une population de crabe des neiges du golfe du Saint-Laurent au début des années 1990 (communication personnelle, Bernard Sainte-Marie). Dans certaines parties localisées du plateau néo-écossais où la biomasse exploitable est basse ces dernières années, comme les baies Fortune et White, la proportion de femelles matures porteuses des couvées pleines d'œufs viables est tombée à des niveaux inhabituellement bas. Un programme de surveillance à grande échelle est en cours pour étudier l'occurrence de carence en sperme dans les populations de crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador.

En ce qui concerne le contrôle des ERI, la meilleure approche conseillée pour adopter un cadre prudent AP/CD consiste à « s'en tenir à ce qui a déjà bien fonctionné » et à maintenir les ERI à des niveaux dont on sait qu'ils ne sont pas associés à des impacts négatifs sur la capacité de reproduction du stock. Cela comprend de s'inspirer des pratiques qui ont donné de bons résultats dans d'autres régions. Si on laisse les ERI atteindre des niveaux élevés nouveaux ou soutenus, comme cela pourrait se produire en l'absence de cadre AP/CD, on risque de causer des dommages biologiques à la ressource par d'autres voies possibles, comme l'effet dépensatoire.

Une autre approche qui peut être conseillée pour maintenir ou accroître l'efficience de l'extraction de la ressource, et par extension la protection biologique de l'espèce, est d'établir une forte biomasse résiduelle dans la population de toutes les DÉ. Pour les DÉ 2HJ et 3K, en particulier, il faudrait sans doute réduire les ERI à des niveaux inférieurs aux normes historiques. En fait, ces DÉ ont été régulièrement exploitées à un niveau proche du taux d'exploitation de référence supérieur pour l'ERI indiqué ici. Une solide biomasse résiduelle permet aussi de limiter les risques associés aux événements imprévus susceptibles d'avoir une incidence négative sur le recrutement une année donnée. Par exemple, Taylor et ses collègues (1993) ont décrit un scénario dans lequel l'incidence élevée du saut de la mue dans la population a entraîné un échec du recrutement et un effondrement localisé de la pêche au large de la presqu'île Avalon au milieu des années 1980. Ils ont précisé qu'il faudrait revoir la stratégie d'exploitation de la biomasse à 50-60 % chaque année afin d'éviter des impacts nocifs sur la ressource et la pêche au cas où des événements anormaux se produiraient.

CADRE PRUDENT ET ADAPTATIF

Dans cette analyse, on a utilisé la CPUE comme paramètre de la biomasse relative plutôt que les indices de la biomasse exploitable. Ce choix était notamment justifié par le fait que l'on sait que la CPUE reflète les indices de la biomasse du relevé avec un décalage d'un ou deux ans. Malgré la concordance historique entre ces deux indices, l'inclusion de la CPUE au lieu de la

biomasse exploitable permet d'assouplir le cadre AP/CD au cas où la biomasse continuerait à diminuer à l'avenir. Les cadres classiques fondés sur la biomasse offrent aux gestionnaires ou aux pêcheurs peu de possibilités de s'adapter aux conditions changeantes lorsque les ressources commencent à décliner. Dans le scénario actuel pour la ressource en crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador, avec la biomasse exploitable à son plus bas niveau observé ou quasiment depuis que les relevés ont commencé dans toutes les DÉ, toutes les analyses fondées sur la biomasse placeraient le stock dans la zone critique ou près de celle-ci, et ce, dans toutes les DÉ. L'utilisation de la CPUE comme paramètre de la biomasse relative offre aux gestionnaires et aux intervenants une certaine souplesse pour mettre en place d'autres mesures afin de maintenir la CPUE à un niveau relativement élevé, même pendant les périodes de pénurie de la ressource. À cet égard, ce cadre AP/CD permet à une pêche responsable de s'adapter à l'évolution des conditions de la productivité liée aux changements climatiques, conformément à l'avis du groupe de travail sur l'AP, qui préconise de reconnaître la nature prudente sous-jacente de la pêche qui vise uniquement les mâles pour mettre en œuvre un cadre AP/CD. Par extension de cette souplesse, la présence d'objectifs cherchant à maintenir les couvées d'œufs à un niveau relativement élevé et les rejets à un niveau relativement bas étend la portée de la précaution et de l'efficacité de ce cadre au-delà des normes appliquées actuellement pour gérer les pêches du crabe des neiges au Canada.

CHANGEMENTS À VENIR

Même si le processus d'examen par les pairs et le présent document jettent les bases d'un cadre AP/CD, il est certain que quelques variables quantitatives clés changeront avant que ce cadre soit officiellement utilisé pour gérer la ressource. On continue d'améliorer les indices de la biomasse du crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador et les résultats préliminaires des techniques non linéaires avancées d'épuisement permettent de penser que les indices actuels de la biomasse pourraient surestimer la biomasse absolue. Cela se traduirait par des indices rehaussés des taux d'exploitation et il faudra par conséquent réviser prochainement la base des niveaux ponctuels des taux d'exploitation de référence. Il faut considérer le niveau actuel du taux d'exploitation de référence supérieur, de 0,63 ERI, comme préliminaire. De plus, en partie d'après des commentaires reçus à la suite du processus d'examen par les pairs, on prévoit que d'autres travaux seront entrepris sur les deux modèles prédictifs (CPUE et rejets) avant leur mise en œuvre officielle en tant que base de l'avis de gestion à la prochaine réunion d'évaluation du stock. Cela n'a pas d'effet sur les PRL établis actuellement pour la CPUE et les rejets et n'influencera l'avis tiré du cadre qu'au moment de la mise en œuvre et non de la phase de démonstration en cours.

RÉFÉRENCES

Colbourne, E., Holden, J., Senciall, D., Bailey, W. et Snook, S. 2016. Physical oceanographic environment on the Newfoundland and Labrador Shelf in NAFO subareas 2 and 3 during 2015. NAFO SCR Doc. 16/07. 29 p.

Conan, G.Y. et Comeau, M. 1986. Functional maturity and terminal molt of male Snow Crabs, *Chionoecetes opilio*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 1710-1719.

Dawe, E.G. et Mullowney, D.R.J. 2016. Baited traps used in the Newfoundland and Labrador fishery for Snow Crab (*Chionoecetes opilio*): A precautionary approach. J. Ocean. Tech. 11: 13-23.

Dawe, E.G., Mullowney, D.R., Moriyasu, M. et Wade, E. 2012. Effects of temperature on size-at-terminal molt and molting frequency in Snow Crab *Chionoecetes opilio* from two Canadian Atlantic ecosystems. Mar. Ecol. 469: 279-296.

Dawe, E.G., Walsh, S.J. et Hynick, E.M. 2010. Capture efficiency of a multispecies survey trawl for Snow Crab (*Chionoecetes opilio*) in the Newfoundland region. Fish. Res. 101: 70-79.

Delury, D.B. 1947. On the estimation of biological populations. Biometrics 3: 145-167.

Dufour, R., Bernier, D., et Brêthes, J.-C. 1997. Optimization of meat yield and mortality during snow crab (*Chionoecetes opilio* O. Fabricius) fishing operations in Eastern Canada. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2152 : viii + 30 p.

Fonseca, D.B., Sainte-Marie, B. et Hazel, F. 2008. Longevity and change in shell condition of adult male snow crab *Chionoecetes opilio* inferred from dactyl wear and mark-recapture data. Trans. Am. Fish. Soc. 137: 1029-1043.

Grant, S.M. 2003. Mortality of snow crab discarded in Newfoundland and Labrador's trap fishery: At-sea experiments on the effect of drop height and air exposure duration. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2481: vi + 28p.

Harley, S.J., Myers, R.A. et Dunn, A. 2001. Is catch-per-unit-effort proportional to abundance? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 58: 1760-1772.

Hilborn, R. et Walters, C.J. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Springer Sci & Bus Media.

Hines, A.H., Jivoff, P.R., Bushmann, P.J., van Montfrans, J., Reed, S.A. et Wolcott, D.L. 2003. Evidence for sperm limitation in the blue crab, *Callinectes sapidus*. Bull. Mar. Sci. 72: 287-310.

Kanno, Y. 1987. Reproductive ecology of the tanner crab in the South Western Okhotsk Sea. Ip Sui Gak 53: 733-738.

Kolts, J.M., Lovvorn, J.R., North, C.A. et Janout, M.A. 2015. Oceanographic and demographic mechanisms affecting population structure of Snow Crabs in the northern Bering Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 518: 193-208.

Miller, R.J. 1977. Resource Underutilization in a Spider Crab Industry. Fisheries. 2(3): 9-13.

MPO. 2006. Stratégie de pêche en conformité avec l'approche de précaution. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2006/023.

MPO. 2009. Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution.

MPO. 2010. Points de référence conformes à l'approche de précaution pour le crabe des neiges du sud du golfe du Saint-Laurent. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2010/014.

MPO. 2015. Évaluation du crabe des neiges de la Nouvelle-Écosse (4VWX). Secr. can. de consult. Sci. du MPO, Avis sci. 2015/034.

MPO. 2017. Conditions océanographiques de la zone atlantique en 2016. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2017/031.

MPO. 2018. Évaluation du crabe des neiges de Terre-Neuve-et-Labrador (Divisions 2HJ3KLNOP4R). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2018/024.

Mullowney, D., Coffey, W., Baker, K., Evans, G., Fiander, D., Colbourne, E., Maddock Parsons, D., Koen-Alonso, M. et Wells, N. 2017. An assessment of Newfoundland and Labrador Snow Crab (*Chionoecetes opilio*) in 2016. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/081. viii + 172 p.

Mullowney, D., Morris, C., Dawe, E., Zagorsky, I. et Goryanina, S. 2018. Dynamics of Snow Crab (*Chionoecetes opilio*) movement and migration along the Newfoundland and Labrador and Eastern Barents Sea continental shelves. Rev. Fish Biol. Fish. 28: 435-459.

Mullowney, D.R. et Dawe, E.G. 2009. Development of performance indices for the Newfoundland and Labrador Snow Crab (*Chionoecetes opilio*) fishery using data from a vessel monitoring system. Fish. Res. 100: 248-254.

Mullowney, D.R.J., Dawe, E.G., Colbourne, E.B. et Rose, G.A. 2014. A review of factors contributing to the decline of Newfoundland and Labrador Snow Crab (*Chionoecetes opilio*). Rev. Fish Biol. Fish. 24: 639-657.

Pardo, L.M., Riveros, M.P., Fuentes, J.P., Pinochet, R., Cardenas, C. et Sainte-Marie, B. 2017. High fishing intensity reduces females' sperm reserve and brood fecundity in a eubrachyuran crab subject to sex- and size-biased harvest. ICES J. Mar. Sci. 74: 2459-2469.

Pardo, L.M., Rosas, Y., Fuentes, J.P., Riveros, M.P. et Chaparro, R. 2015. Fishery induces sperm depletion and reduction in male reproductive potential for crab species under male-only harvest strategy. PLoS One. DOI : 10.1371/journal.pone.0115525.

Petrie, B. 2007. Does the North Atlantic Oscillation affect hydrographic properties on the Canadian Atlantic continental shelf? Atmos. Ocean. 45: 141-151.

Puebla, O., Sévigny, J., Sainte-Marie, B., Brêthes, J., Burmeister, A., Dawe, E. et Moriyasu, M. 2008. Population genetic structure of the Snow Crab (*Chionoecetes opilio*) at the Northwest Atlantic scale. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 65: 425-436.

Rondeau, A. et Sainte-Marie, B. 2001. Variable mate-guarding time and sperm allocation by male Snow Crab (*Chionoecetes opilio*) in response to sexual competition, and their impact on the mating success of females. Biol. Bull. 201: 204-217.

Rose, G.A. et Kulka, D.W. 1999. Hyperaggregation of fish and fisheries: how catch-per-unit-effort increased as the northern cod (*Gadus morhua*) declined. Can. J. Fish. Aquat. Sci. (Suppl. 1): 118-127.

Sainte-Maire, B. 1993. Reproductive cycle and fecundity of primiparous and multiparous female Snow Crab, *Chionoecetes opilio*, in the Northwest Gulf of St. Lawrence. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50: 2147-2156.

Sainte-Marie, B. et Carriere, C. 1995. Fertilization of the second clutch of eggs of Snow Crab, *Chionoecetes opilio*, from females mated once or twice after their molt to maturity. Fish. Bull. 93: 759-764.

Sainte-Marie, B. et Hazel, F. 1992. Moulting and mating of Snow Crabs, *Chionoecetes opilio* (O Fabricius), in shallow waters of the northwestern Gulf of St Lawrence. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 1282-1293.

Sainte-Marie, B., Gosselin, T., Sévigny, J.M. et Urbani, N. 2008. The Snow Crab mating system: opportunity for natural and unnatural selection in a changing environment. Bull. Mar. Sci. 83: 131-161.

Sainte-Marie, B., Sévigny, J., Smith, B.D. et Lovrich, G.A. 1996. Recruitment variability in Snow Crab (*Chionoecetes opilio*): pattern, possible causes, and implications for fishery management. *In*: High latitude crabs: biology, management,and economics. Alaska Sea Grant College Program AK-SG-96-02, Anchorage, Alaska. pp. 451-478.

Sainte-Marie, B., Urbani, N., Hazel, F., Sévigny, J.M. et Kuhnlein, U. 1999. Multiple choice criteria and the dynamics of assortative mating during the first breeding season of the female Snow Crab *Chionoecetes opilio* (*Brachyura*, *Majidae*). Mar. Ecol. Prog. Ser. 181: 141-153.

Sato, T., Yoseda, K., Okuzawa, K. et Suzuki, N. 2010. Sperm limitation: possible impacts of large male-selective harvesting on reproduction of the coconut crab *Birgus latro*. Aquat. Biol. 10: 23-32.

Taylor, D.M., O'Keefe, P.G. et Fitzpatrick, C. 1993. A Snow Crab, *Chionoecetes opilio* (Decapoda, *Majidae*), fishery collapse in Newfoundland. Fish. Bull. 92: 412-419.

Urban, J.D. 2015. Discard mortality rates in the Bering Sea Snow Crab, *Chionoecetes opilio*, fishery. ICES J. Mar. Sci. 72: 1525-1529.

FIGURES

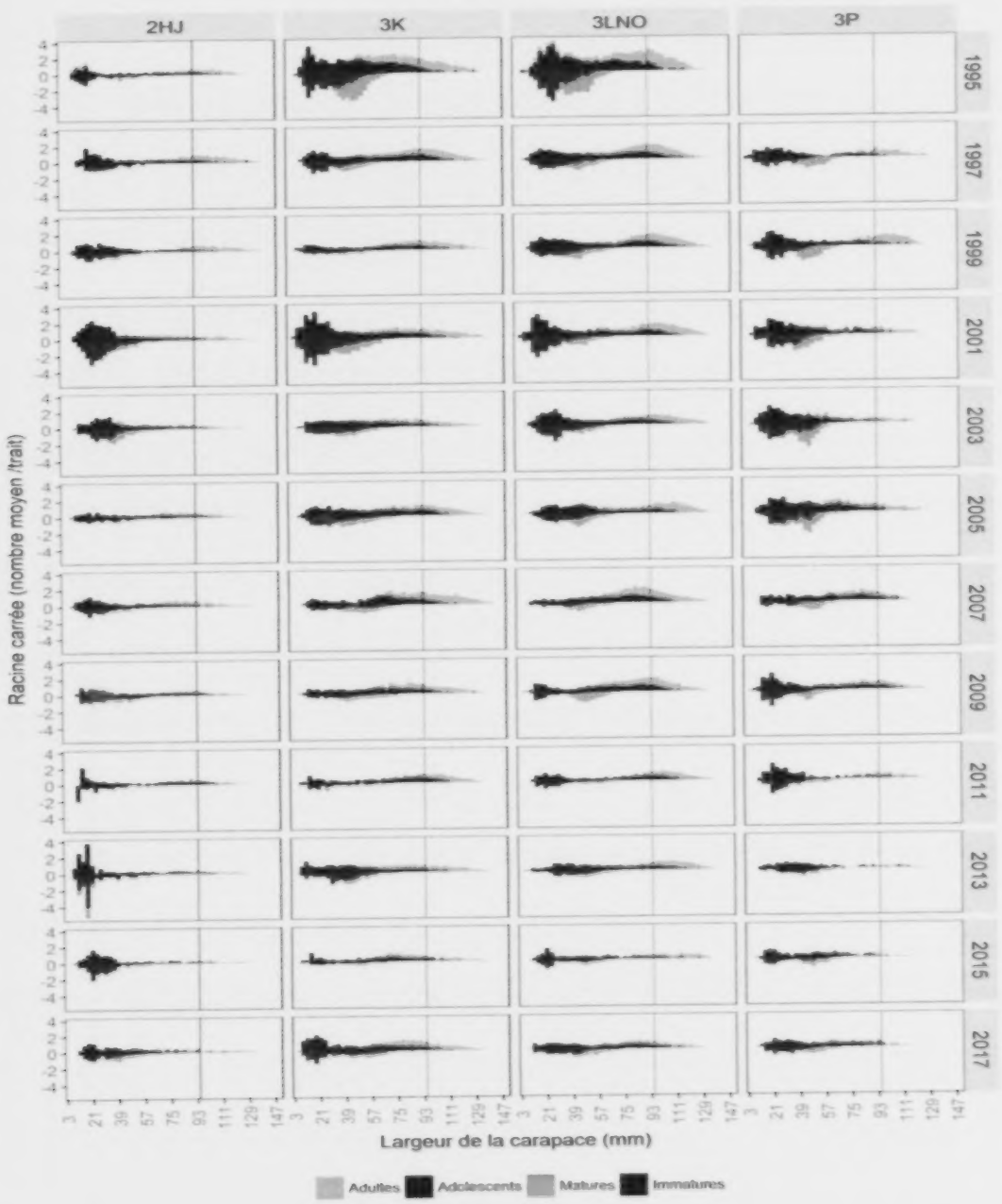

Figure 1. Fréquences de taille des crabes des neiges mâles (adultes et adolescents) et femelles (matures et immatures), tirées des relevés au chalut dans les divisions d'évaluation 2HJ, 3K, 3LNO et 3Ps (1995-2017). La ligne verticale indique la taille exploitable (largeur de la carapace = 95 mm).

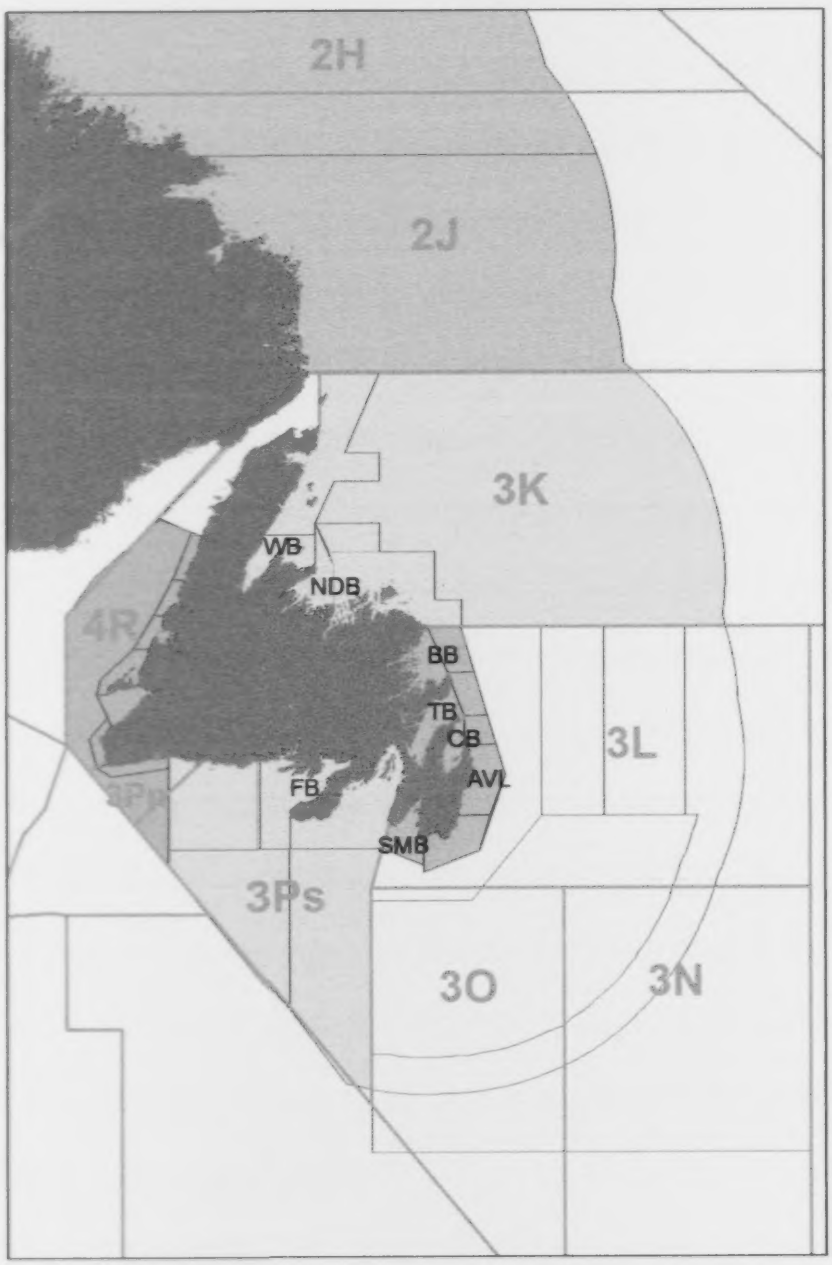

Figure 2. Carte illustrant les divisions d'évaluation (zones ombrées) utilisées pour évaluer le crabe des neiges à Terre-Neuve-et-Labrador. Les baies où le MPO effectue les relevés côtiers au casier sont également indiquées.

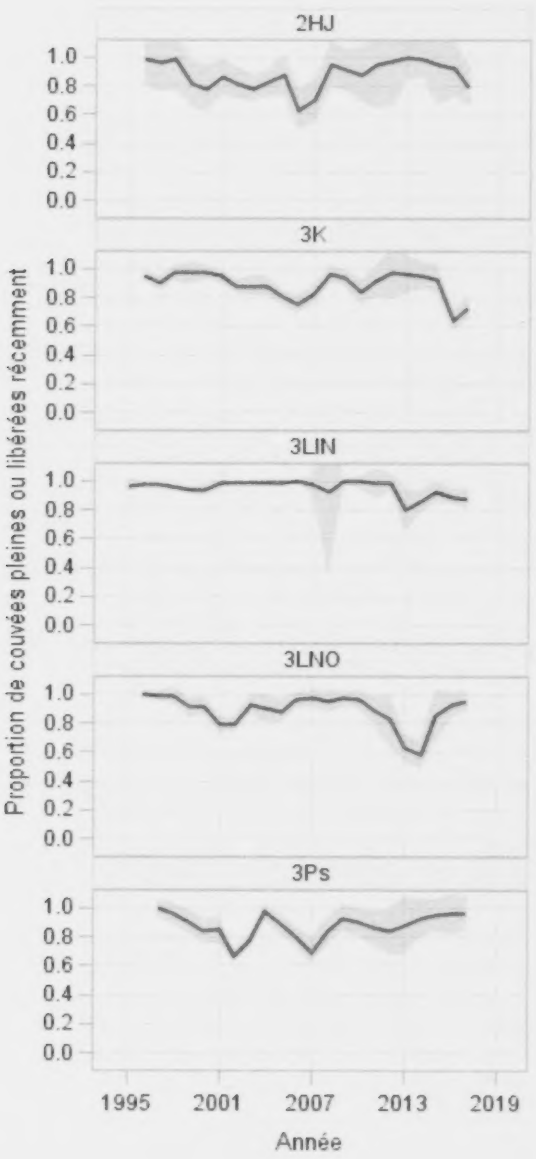

Figure 3. Proportion de femelles de crabe des neiges porteuses de couvées pleines (ou récemment libérées), par division d'évaluation (données tirées des relevés au chalut). La ligne pleine indique la moyenne et la zone ombrée, les intervalles de confiance de 95 %.

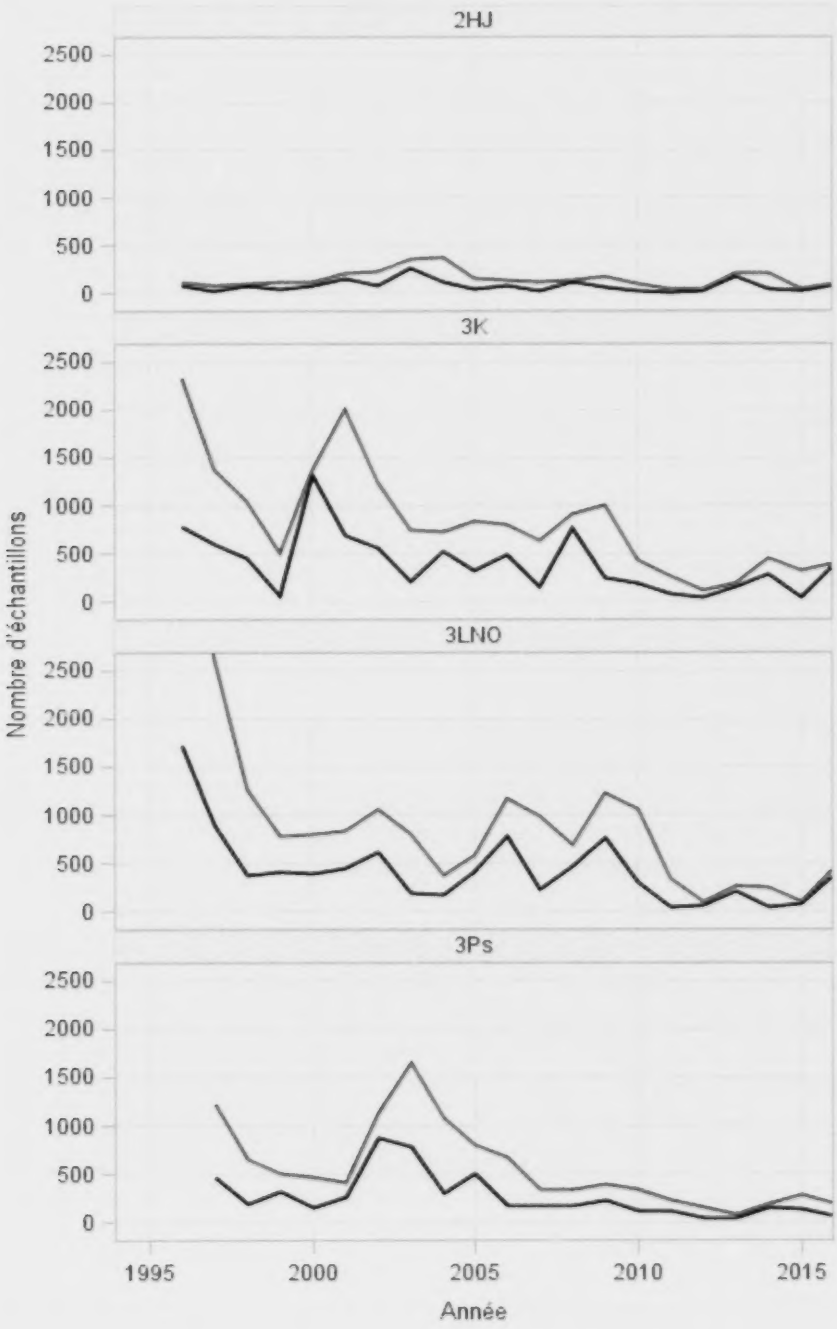

Figure 4. Nombre (en noir) et sommes cumulatives sur deux ans (en violet) de femelles de crabe des neiges échantillonnées pendant les relevés extracôtiers au chalut, par division d'évaluation.

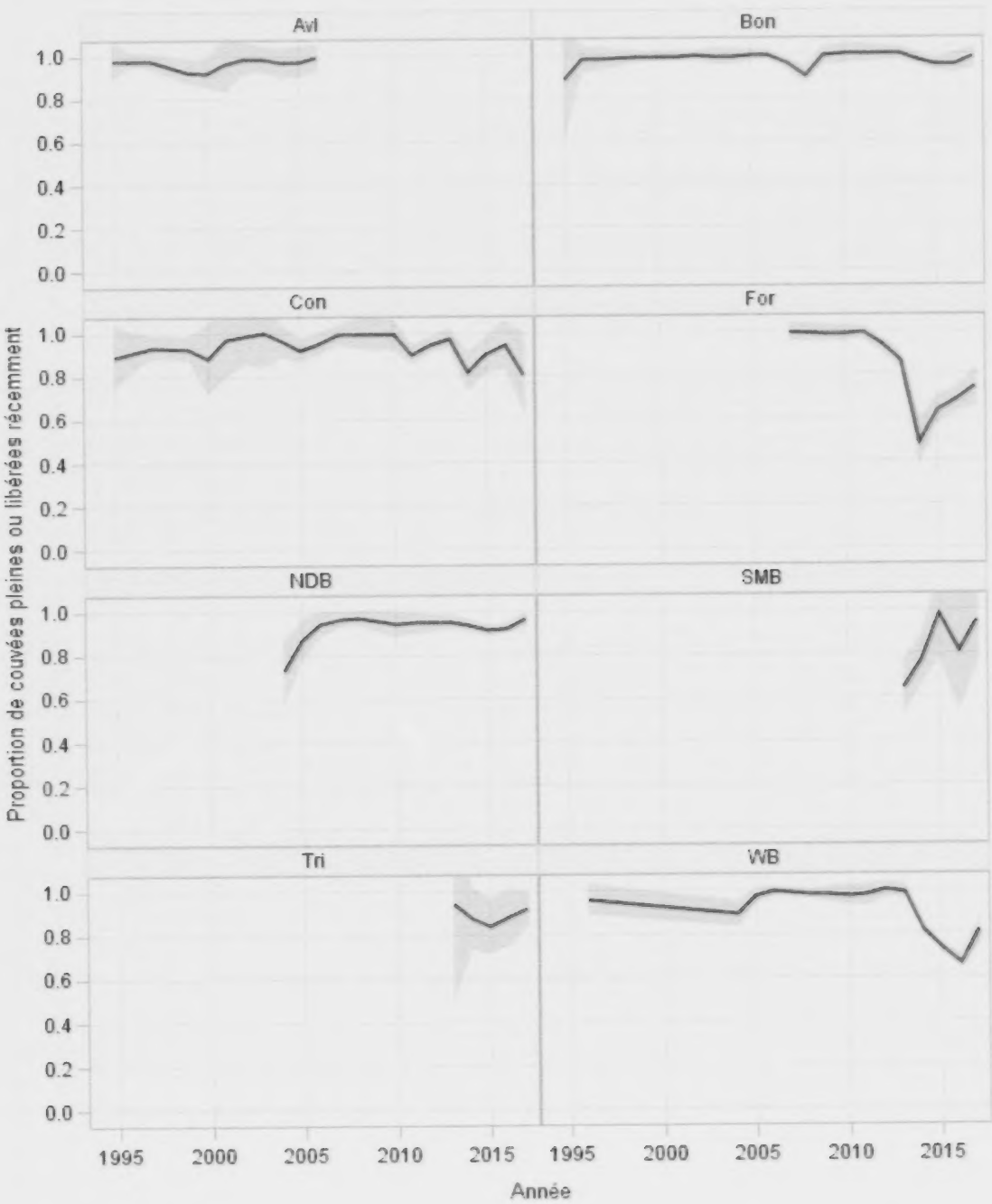

Figure 5. Proportion de femelles de crabe des neiges porteuses de couvées pleines (ou récemment libérées) d'œufs viables, par baie (données tirées des relevés côtiers au casier). La ligne pleine indique la moyenne pondérée par la superficie de la strate et la zone ombrée, les intervalles de confiance de 95 %.

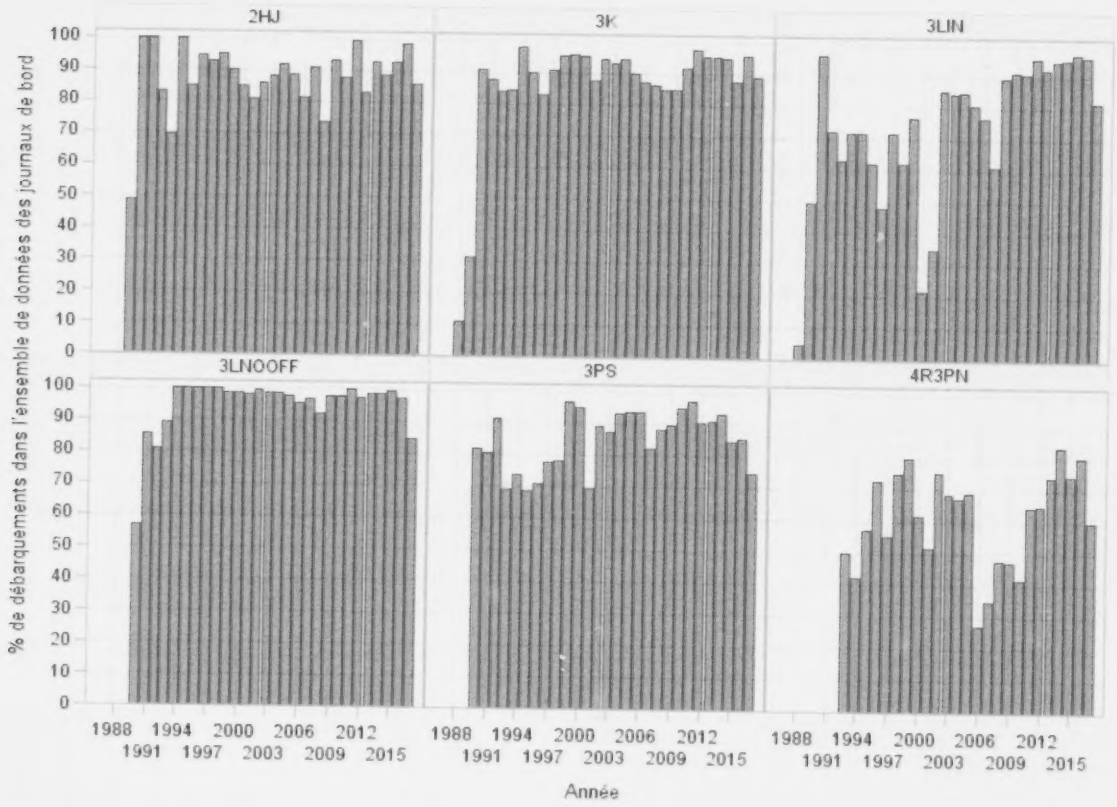

Figure 6. Taux de retour annuels des journaux de bord du crabe des neiges (pourcentage des débarquements dans l'ensemble de données des journaux de bord) dans chaque division d'évaluation.

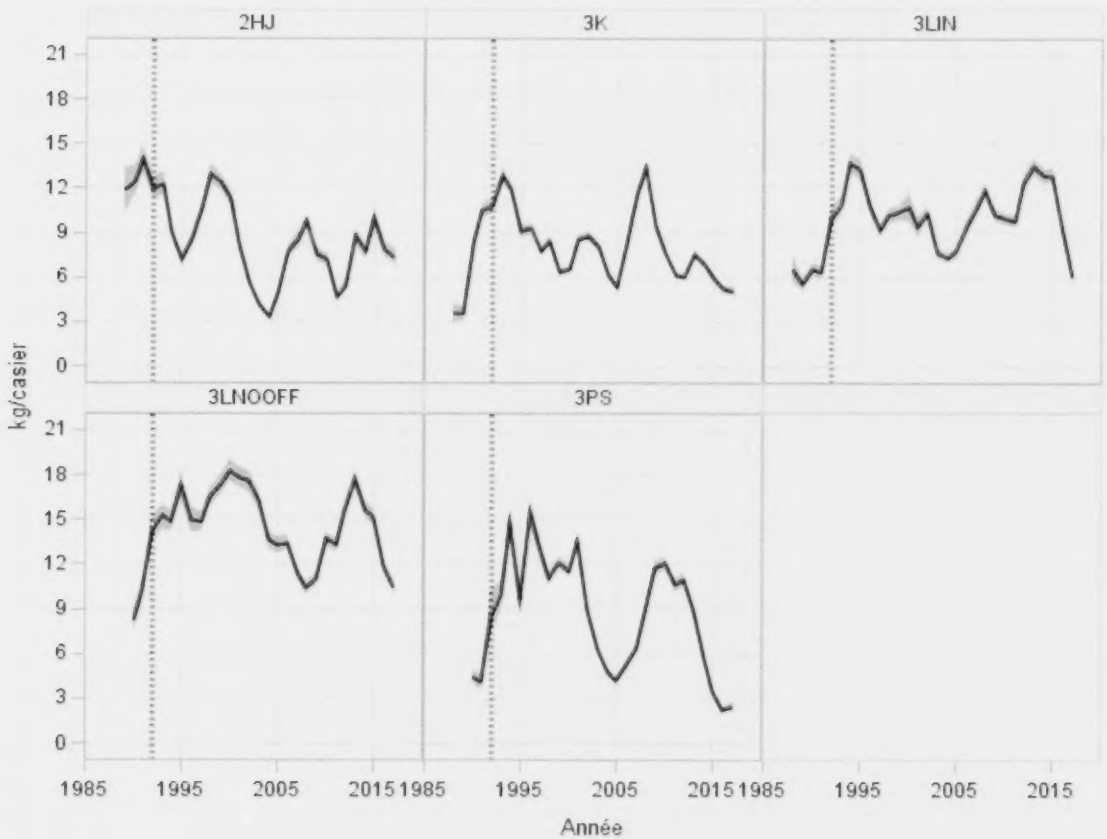

Figure 7. CPUE normalisée de la pêche (kg/casier) d'après un modèle mixte linéaire (MML). La zone ombrée représente l'intervalle de confiance de 95 %. La ligne tiretée verticale en 1992 représente le début du moratoire sur la pêche de la morue.

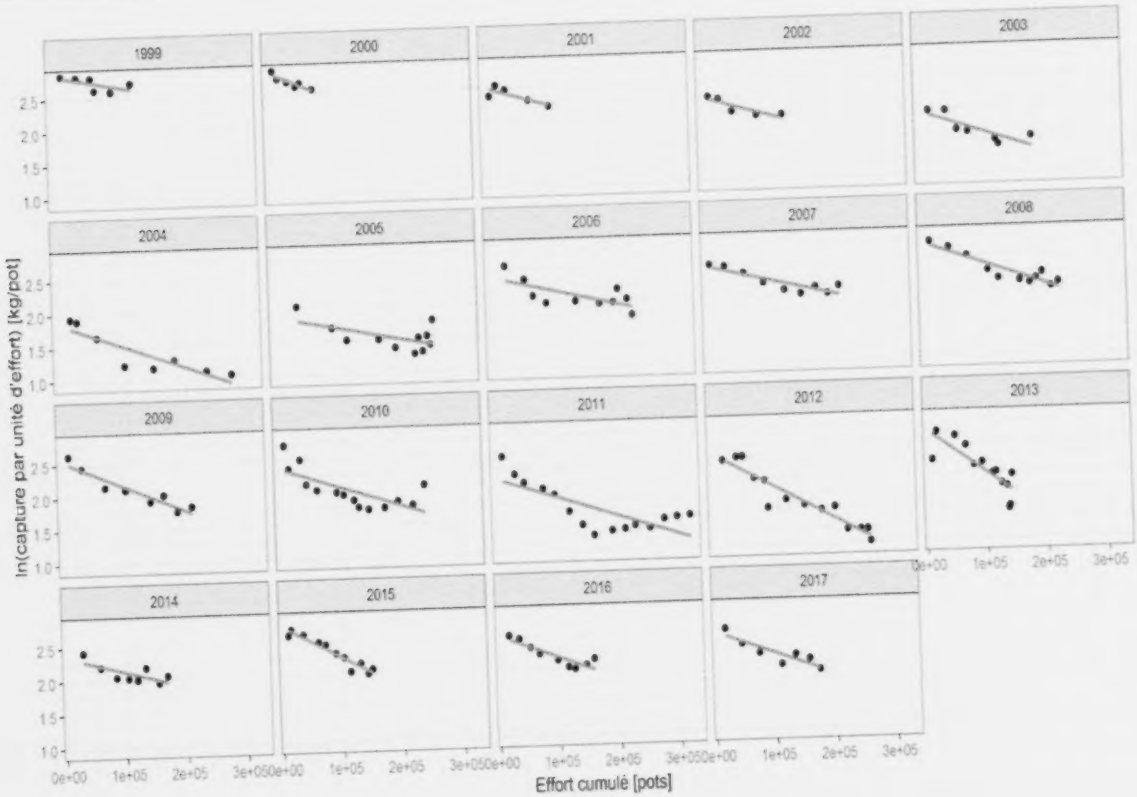

Figure 8. Illustration de l'analyse de l'épuisement selon Delury dans la division d'évaluation 2HJ.

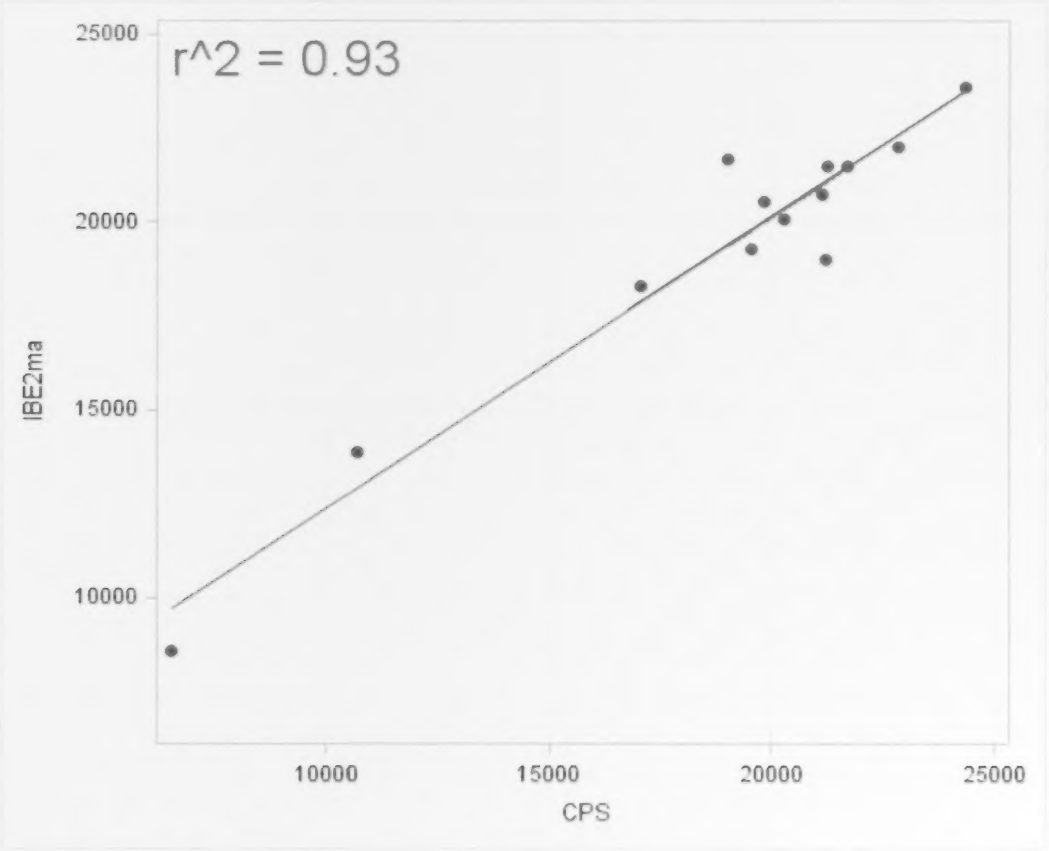

Figure 9. Relation entre l'indice de la biomasse exploitable estimé à partir du relevé au chalut (moyenne mobile sur deux ans) et l'indice de la biomasse exploitable estimé à partir des relevés côtiers au casier dans la division d'évaluation côtière 3L.

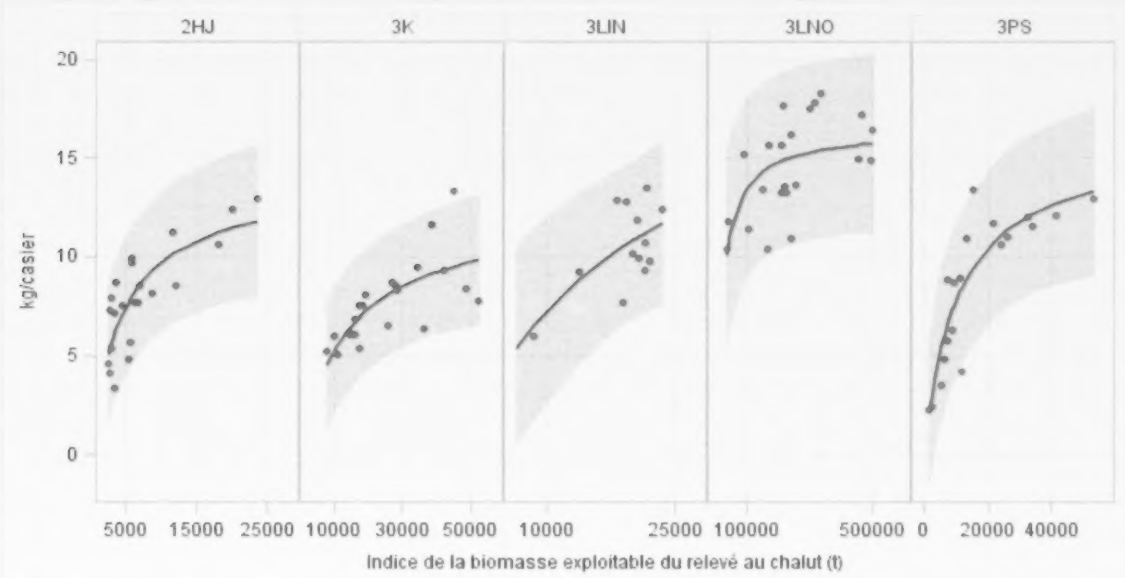

Figure 10. Relation entre la CPUE de la pêche (kg/casier) et l'indice de la biomasse exploitable (t) (une moyenne mobile sur deux périodes), tirée du relevé au chalut dans chaque division d'évaluation. Les lignes bleues représentent les relations prédites et les zones ombrées, les limites de prédiction de 95 %. Noter que la DÉ côtière 3L utilise les données de la biomasse tirées du relevé au casier.

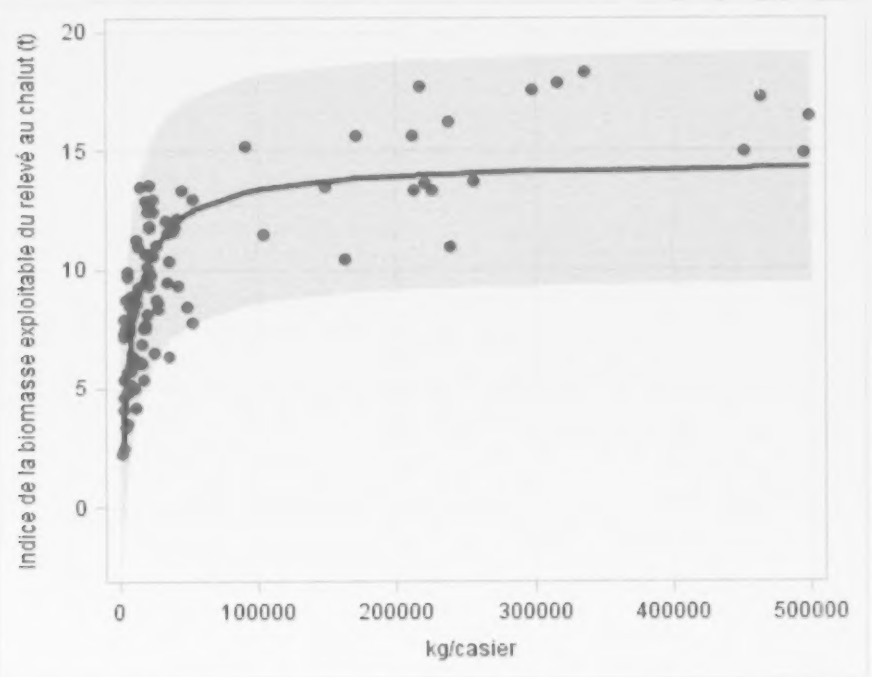

Figure 11. Relation entre la CPUE de la pêche (kg/casier) et l'indice de la biomasse exploitable (t) (une moyenne mobile sur deux périodes), tirée du relevé au chalut. La ligne bleue représente la relation prédite et les zones ombrées, les limites de prédiction de 95 %.

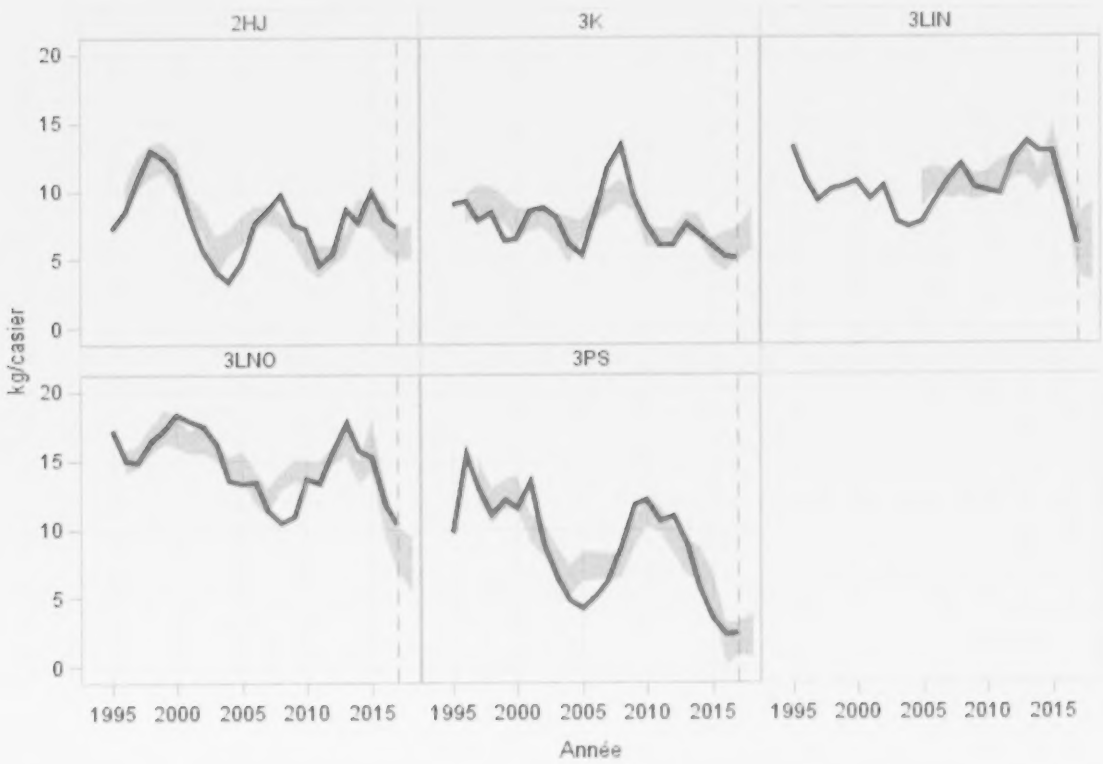

Figure 12. CPUE observée (ligne épaisse) et prédite (bande), par division d'évaluation. L'ombrage indique les intervalles de confiance de 95 %. Les projections de 2018 présument le statu quo des débarquements et des dates de la saison de pêche.

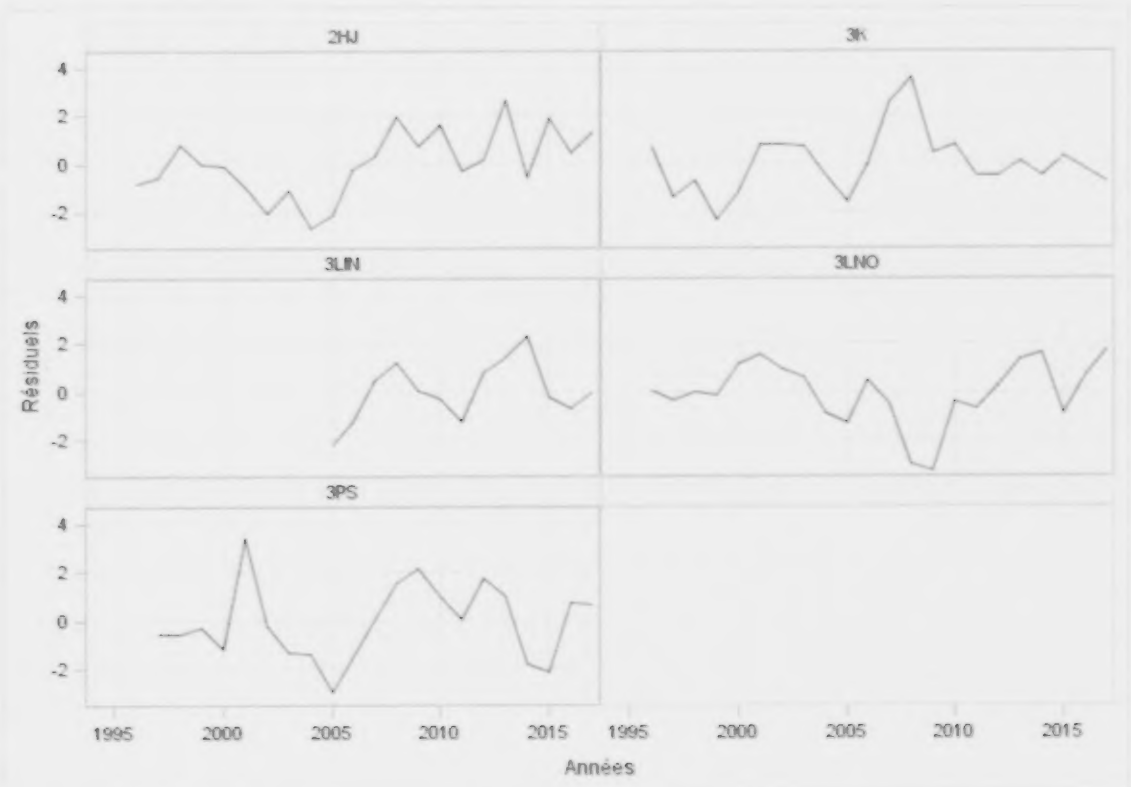

Figure 13. Résiduels annuels tirés du modèle prédictif de la CPUE.

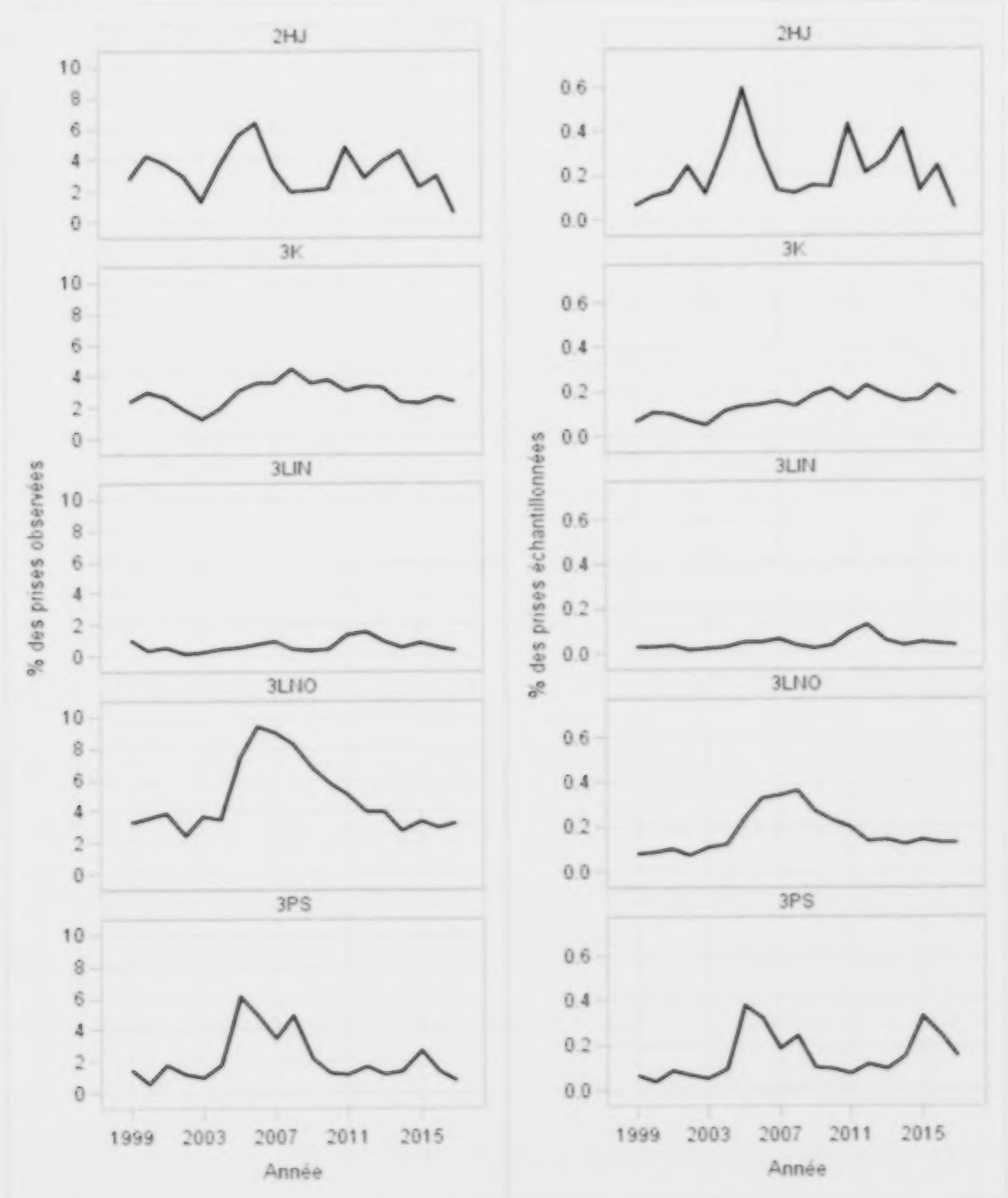

Figure 14. Pourcentage des prises avec niveau de présence des observateurs (gauche) et pourcentage des prises échantillonnées par les observateurs (droite) dans chaque division d'évaluation. Les pourcentages obtenus avec les débarquements totaux faisant l'objet d'une vérification à quai représentent le dénominateur.

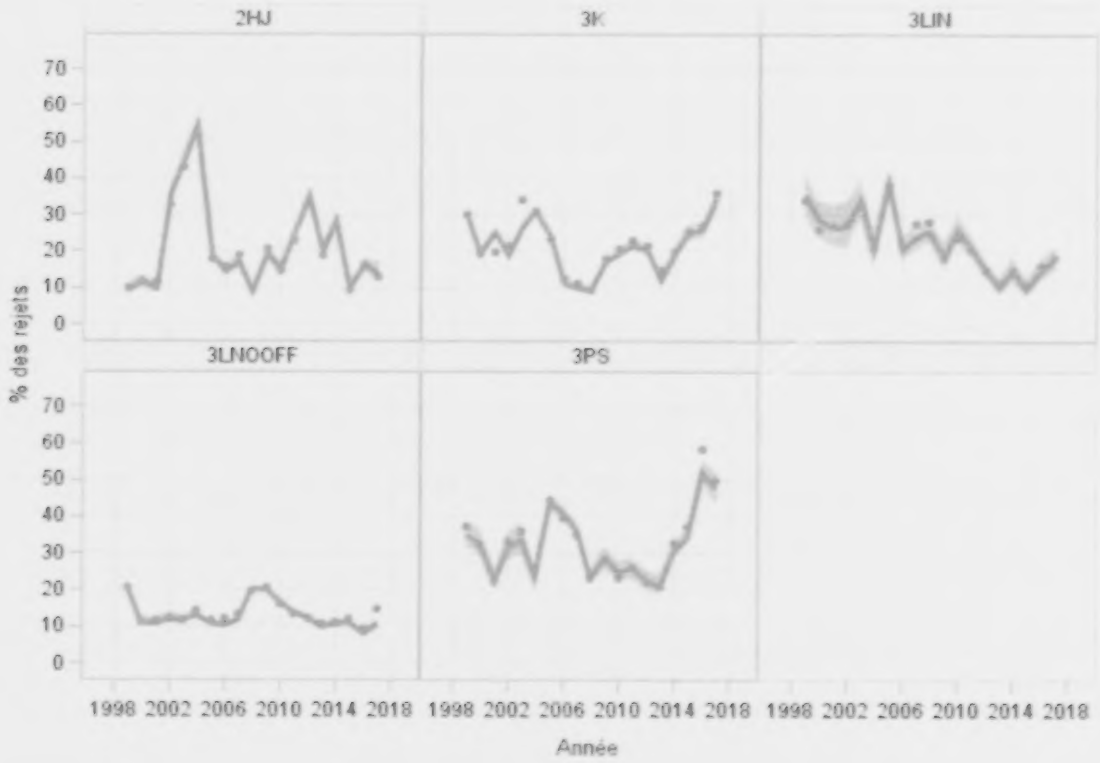

Figure 15. Rejets normalisés de la pêche (kg/casier) d'après un modèle mixte linéaire généralisé. La zone ombrée représente l'intervalle de confiance de 95 %.

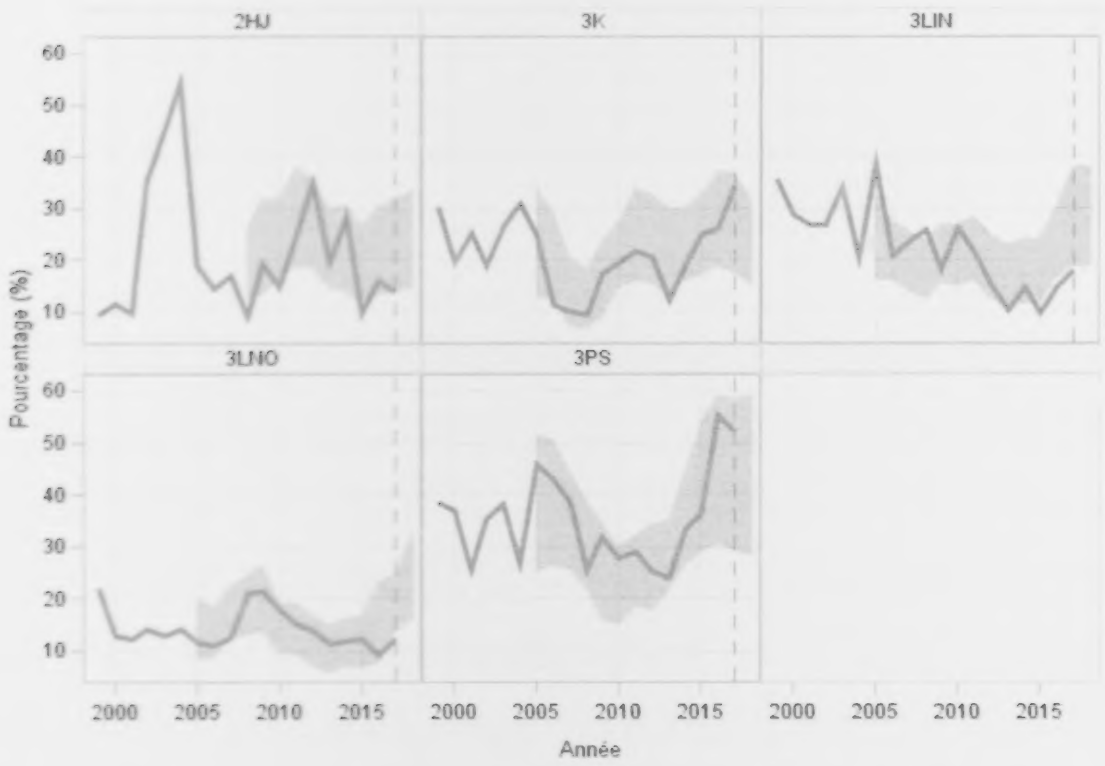

Figure 16. Pourcentages observés (ligne épaisse) et prédits (bande) des rejets, par division d'évaluation. L'ombrage indique les intervalles de confiance de 95 %. Les projections de 2018 sont fondées sur la CPUE projetée et présument le statu quo des durées d'immersion des casiers.

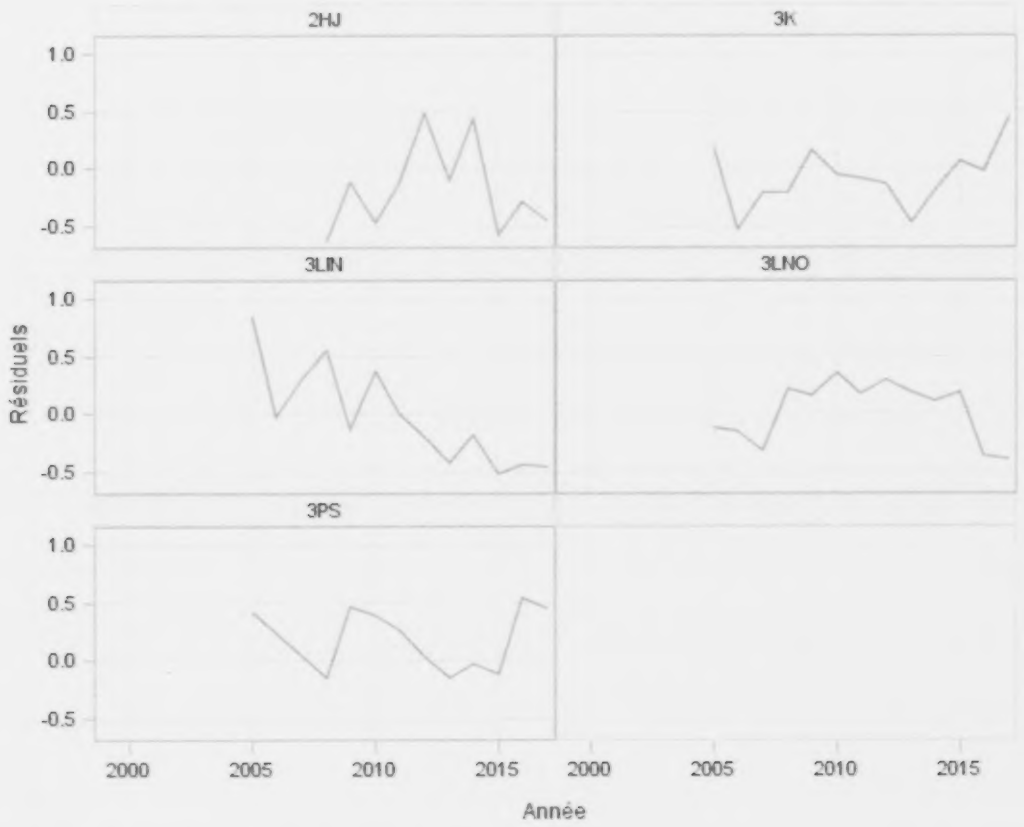

Figure 17. Résiduels annuels tirés du modèle prédictif des rejets.

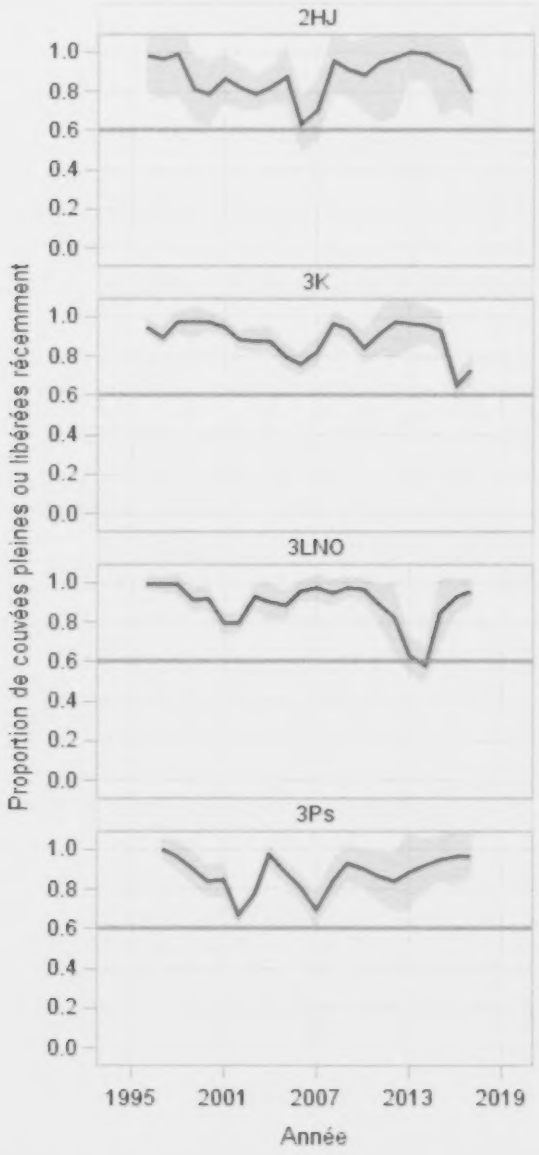

Figure 18. Proportion de femelles porteuses de couvées pleines ou récemment libérées d'œufs viables par rapport au PRL $E_{recovery}$, par division d'évaluation. Données tirées des relevés plurispécifiques au chalut. L'ombrage indique les intervalles de confiance de 95 %.

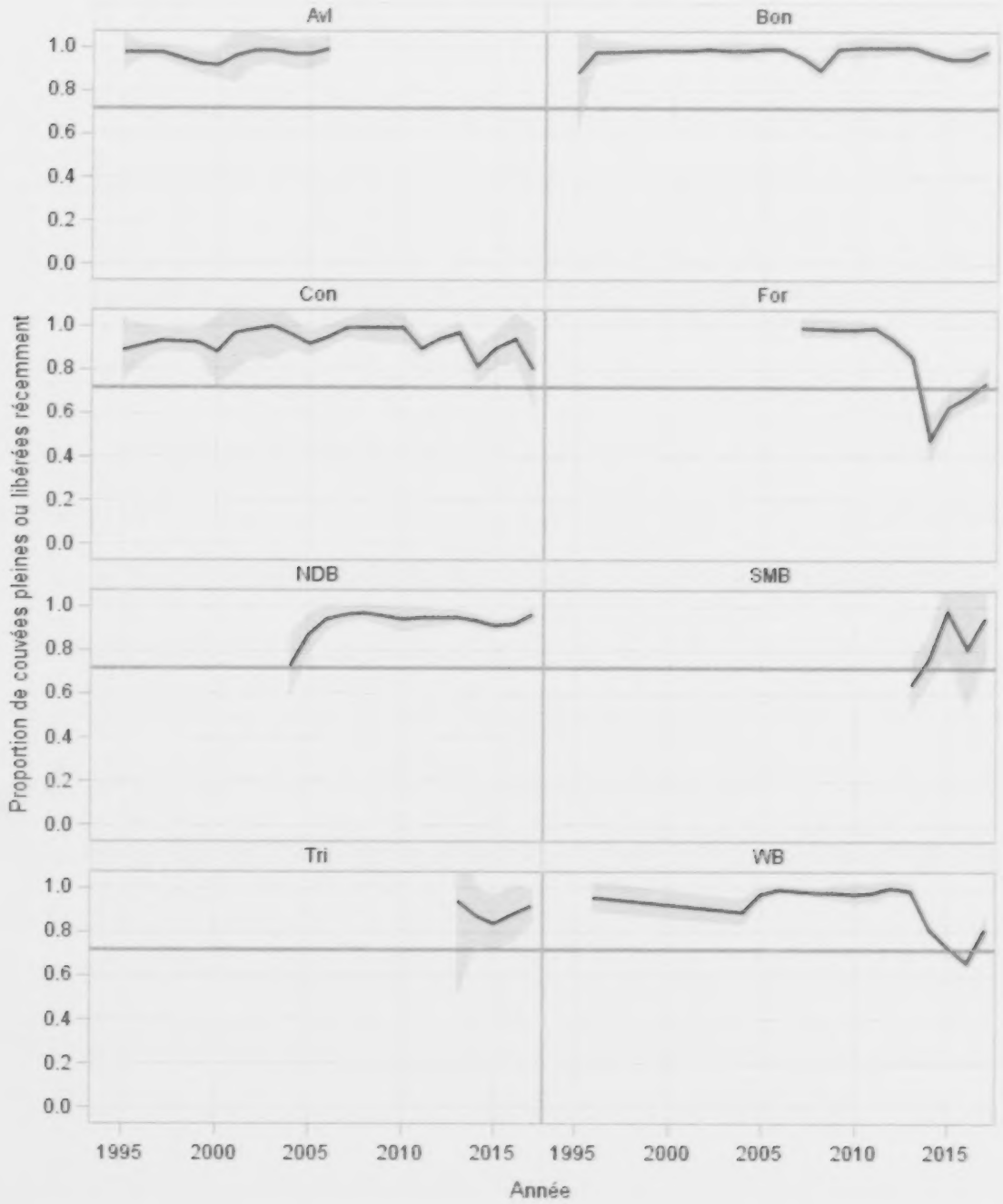

Figure 19. Proportion de femelles porteuses de couvées pleines ou récemment libérées d'œufs viables par rapport au PRL $E_{recovery}$, par baie. Données tirées des relevés côtiers au casier. L'ombrage indique les intervalles de confiance de 95 %.

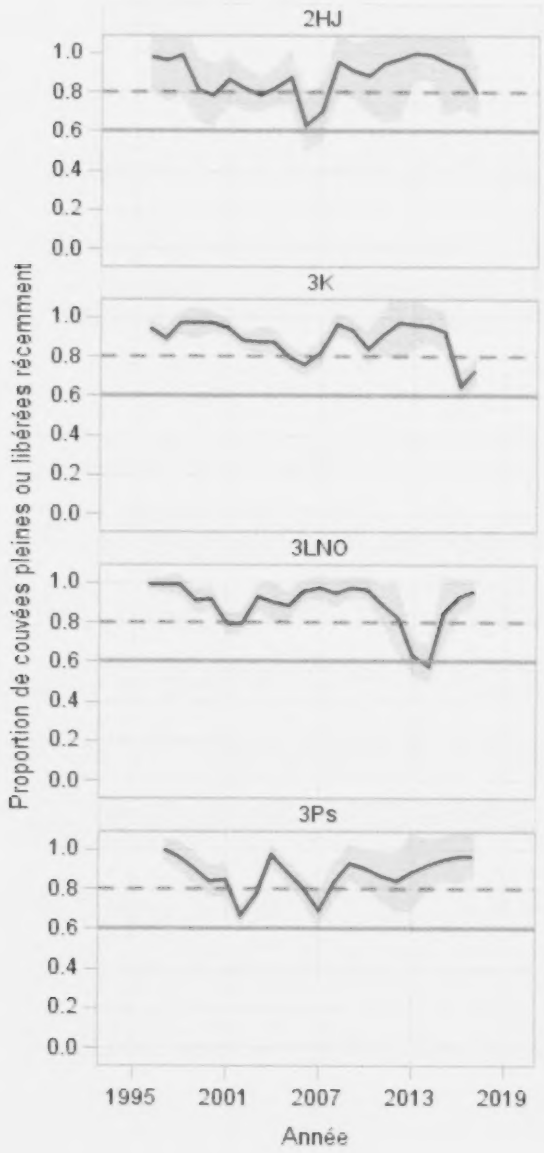

Figure 20. Proportion de femelles porteuses de couvées pleines ou récemment libérées d'œufs viables par rapport au point de référence limite et au point de référence supérieur $E_{history}$, par division d'évaluation. Données tirées des relevés plurispécifiques au chalut. L'ombrage indique les intervalles de confiance de 95 %.

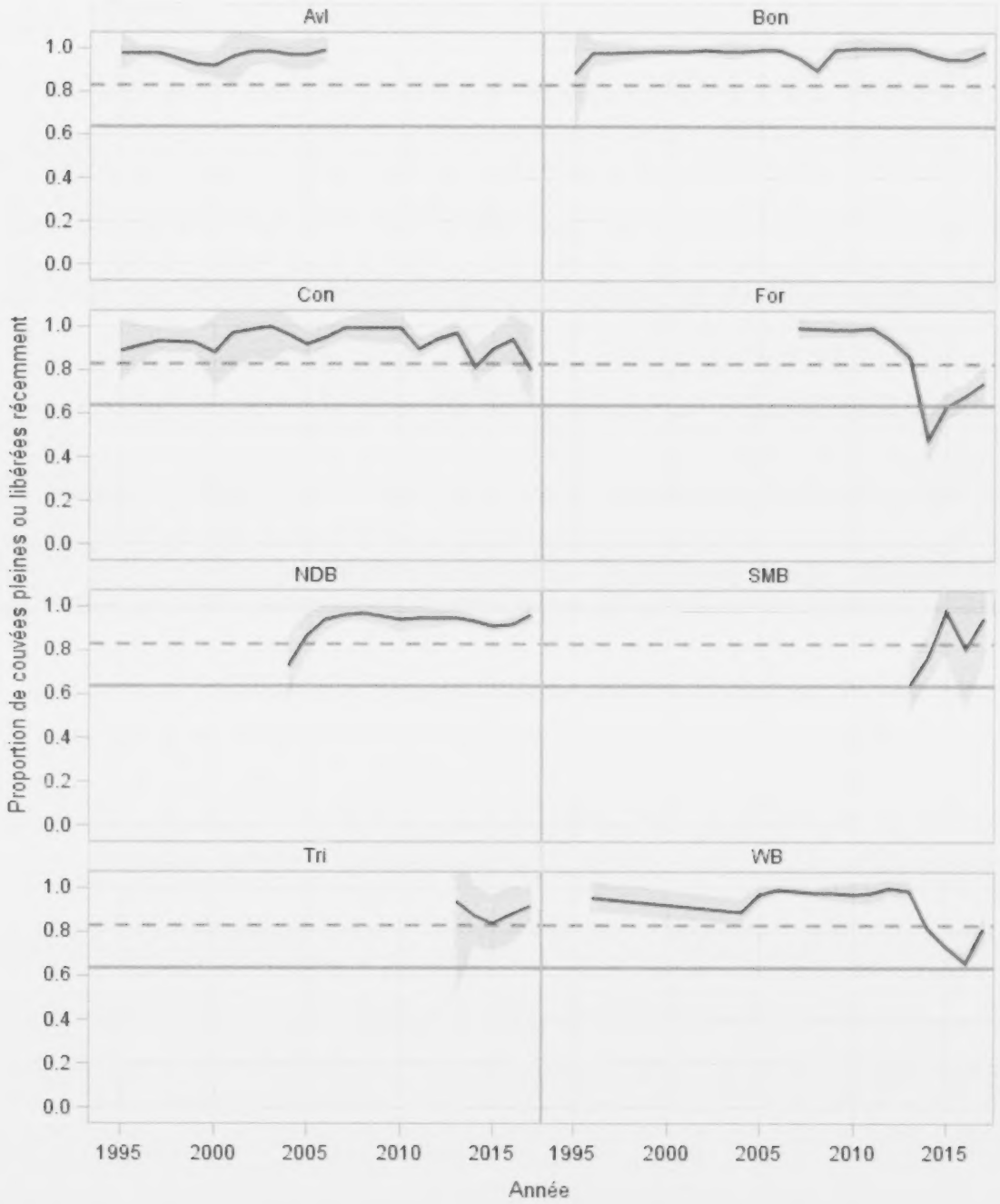

Figure 21. Proportion de femelles porteuses de couvées pleines ou récemment libérées d'œufs viables par rapport au point de référence limite et au point de référence supérieur $E_{history}$, par baie. Données tirées des relevés côtiers au casier. L'ombrage indique les intervalles de confiance de 95 %.

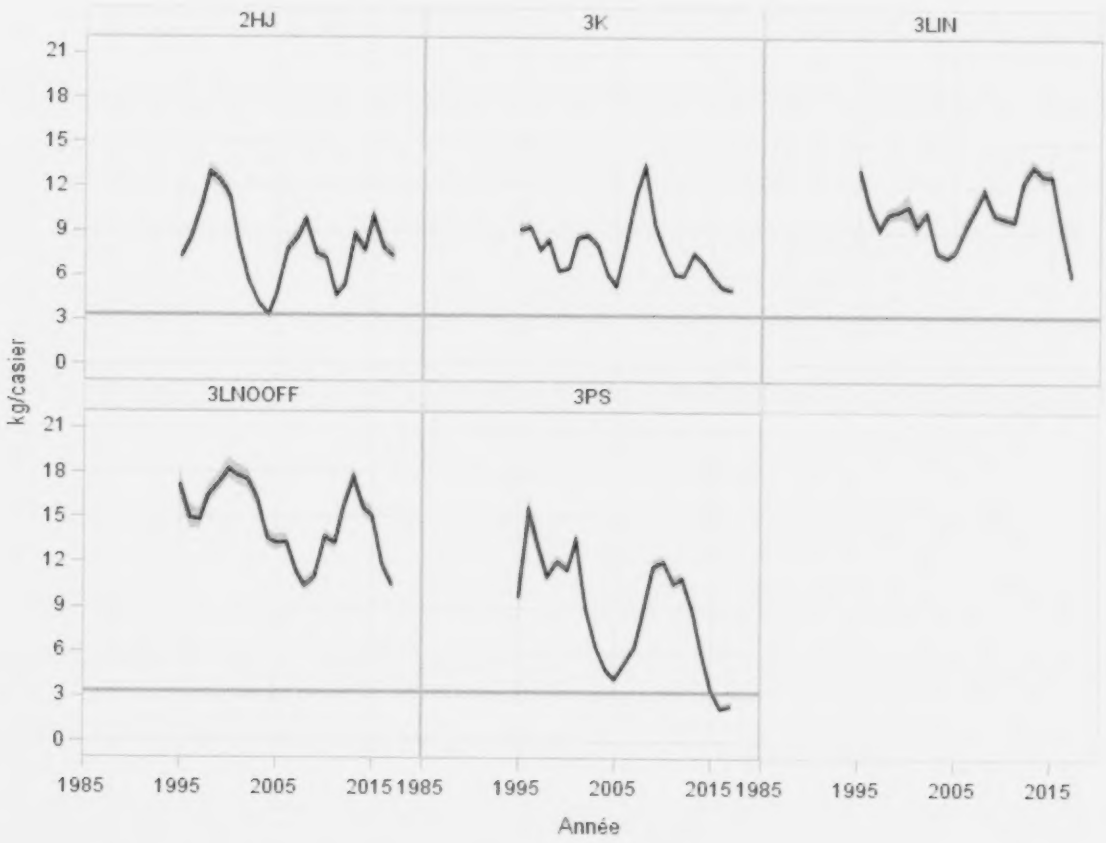

Figure 22. CPUE de la pêche par rapport au PRL $C_{recovery}$, par division d'évaluation.

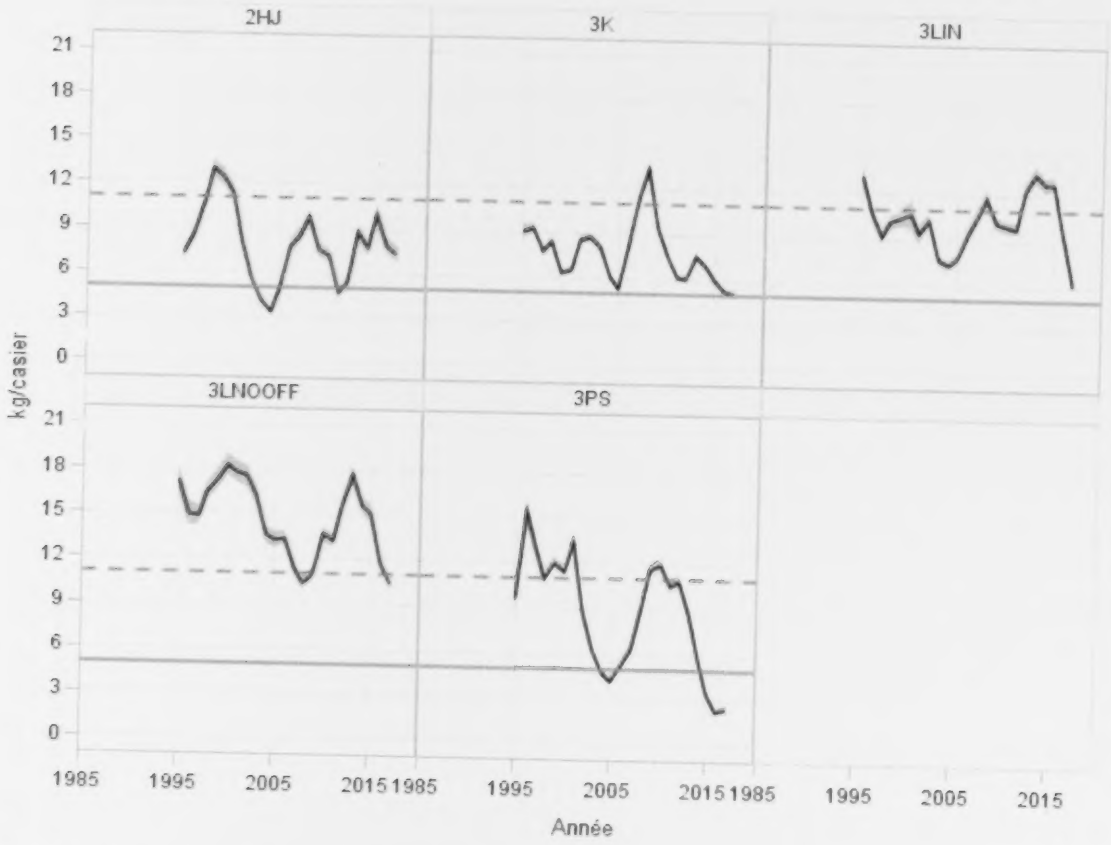

Figure 23. CPUE de la pêche par rapport au PRL et au PRS $C_{history}$, par division d'évaluation.

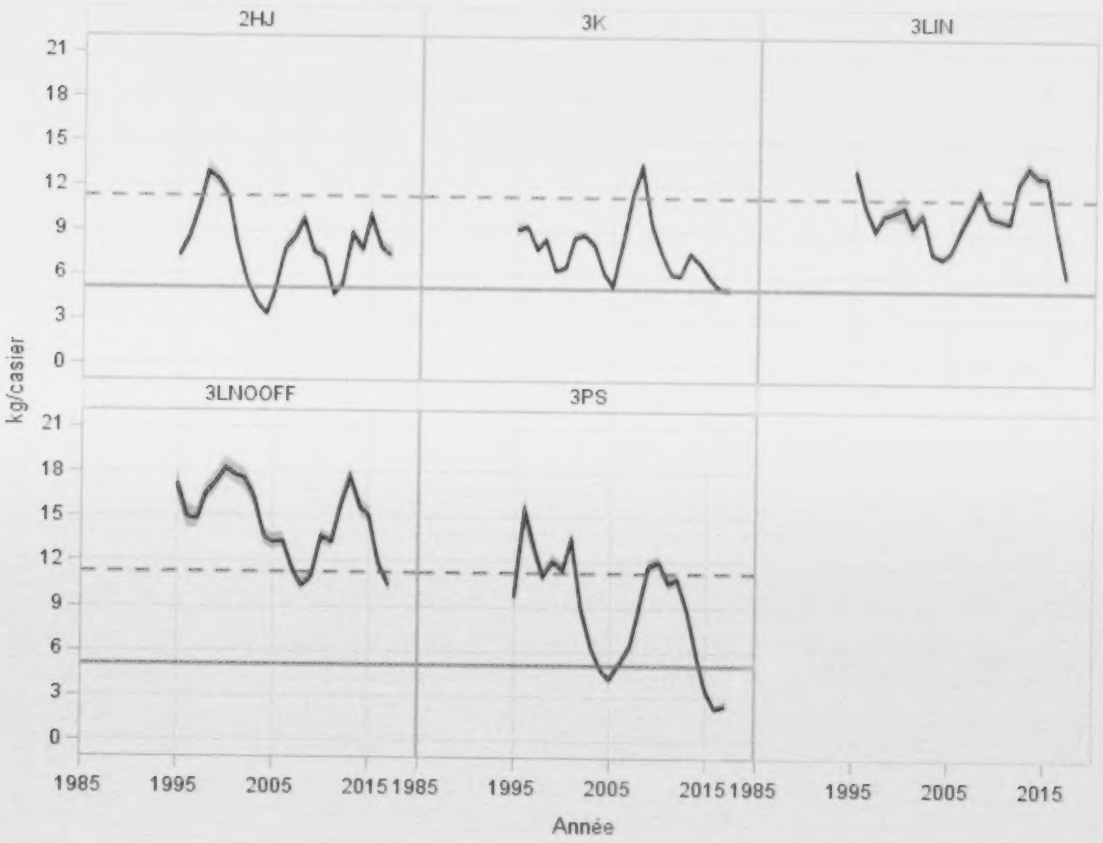

Figure 24. CPUE de la pêche par rapport au PRL et au PRS $C_{highlow}$, par division d'évaluation.

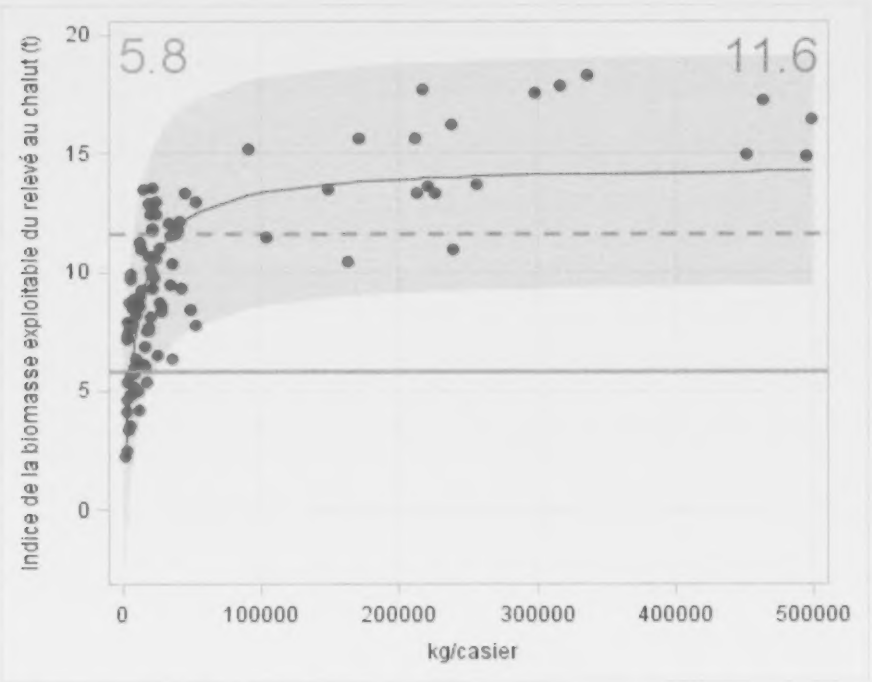

Figure 25. CPUE de la pêche par rapport au PRL et au PRS $C_{saturate}$

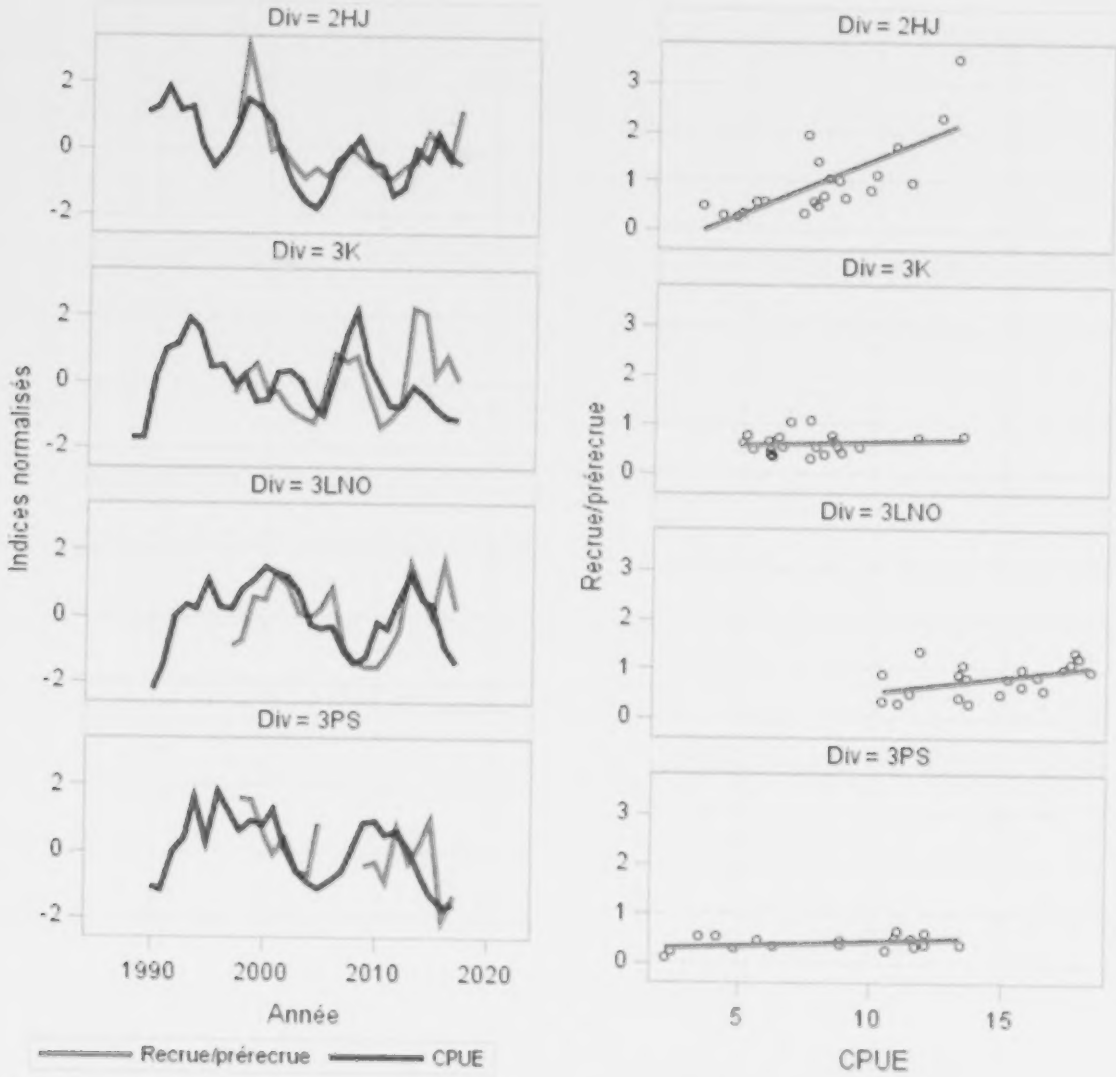

Figure 26. CPUE de la pêche par rapport à l'indice recrue par prérecrue, par division d'évaluation. Les données normalisées sont illustrées par les tracés dans les panneaux de gauche et les données non normalisées utilisées dans les graphiques en nuage et les régressions linéaires dans les panneaux de droite.

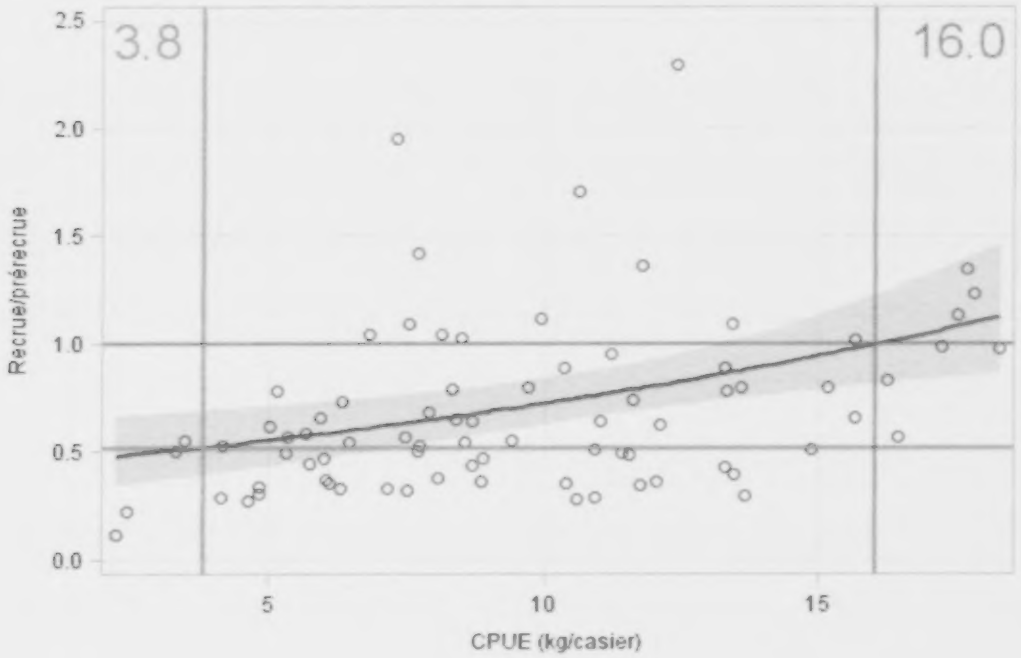

Figure 27. Point de référence limite et point de référence supérieur de la CPUE de la pêche, d'après l'analyse de $C_{efficient}$. L'ombrage indique les intervalles de confiance de 95 % tirés du modèle de régression.

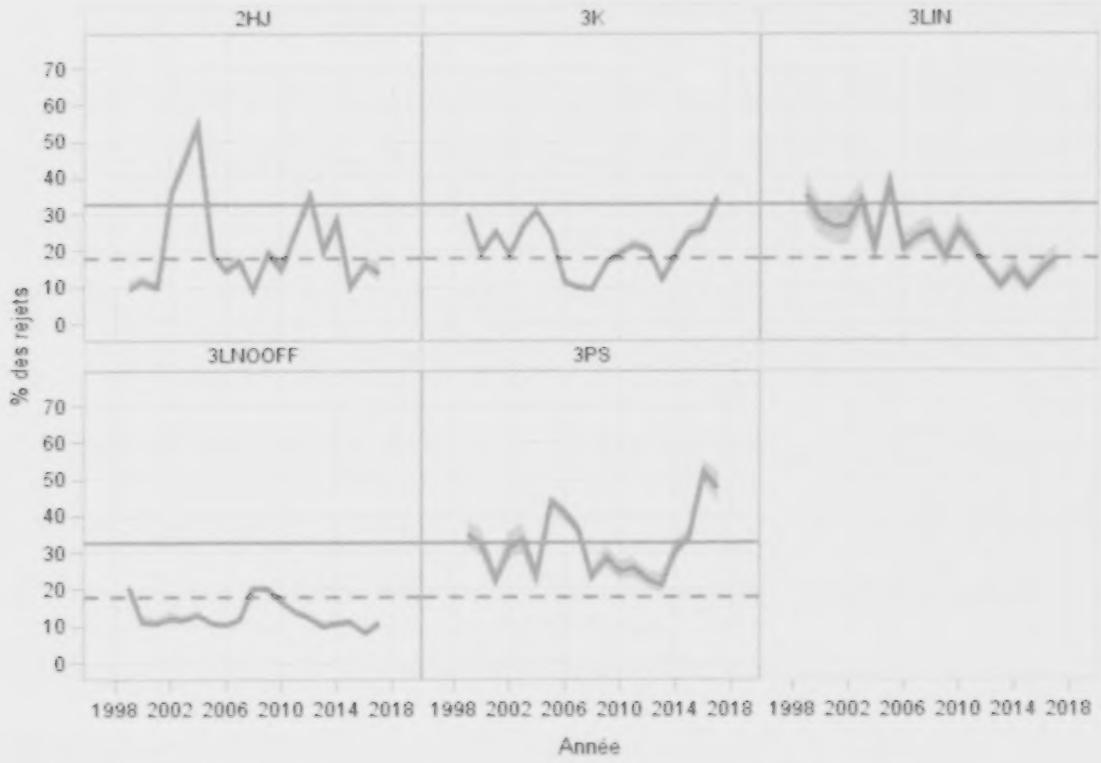

Figure 28. Rejets de la pêche par rapport au PRL et au PRS $D_{history}$, par division d'évaluation.

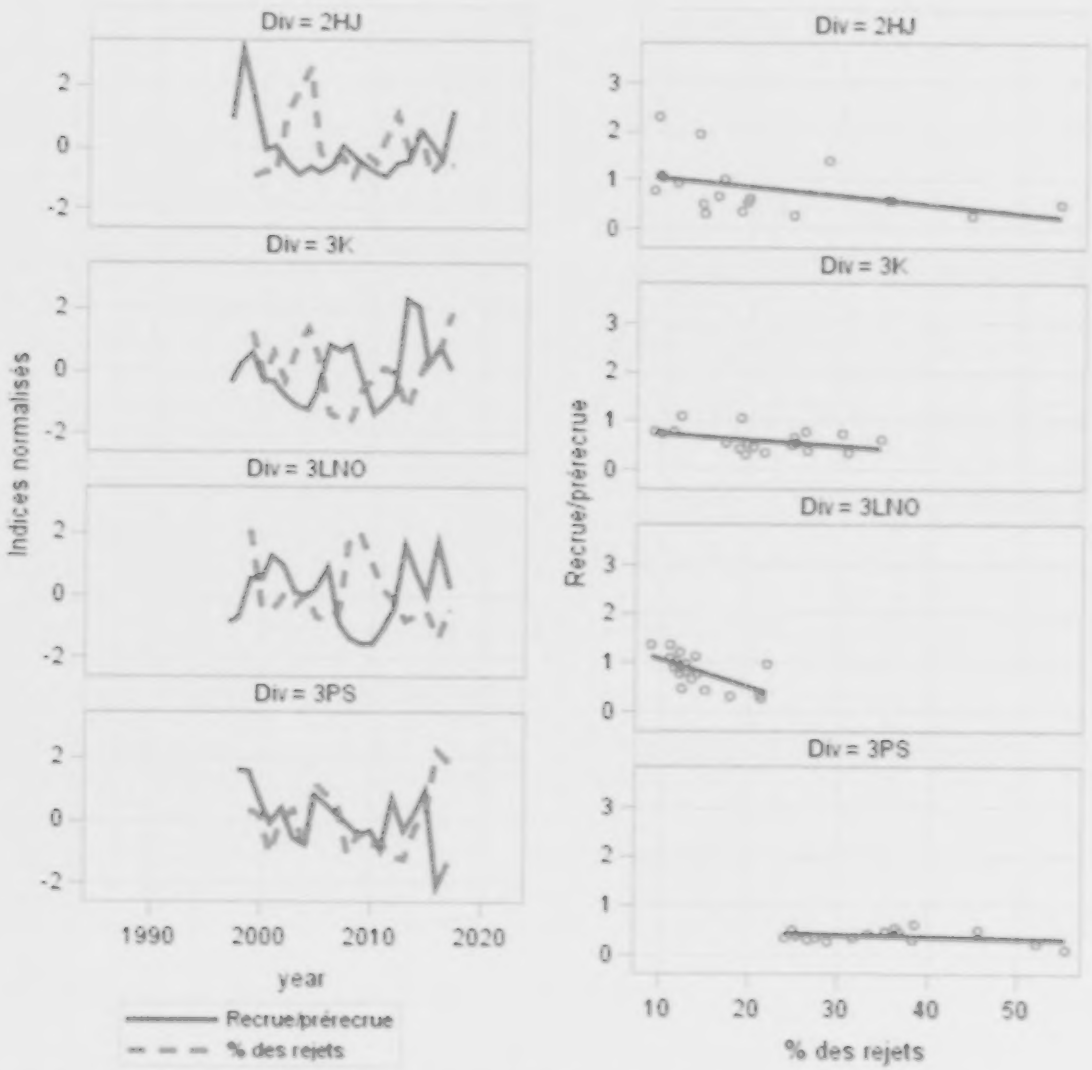

Figure 29. Rejets de la pêche par rapport à l'indice recrue par prérecrue, par division d'évaluation. Les données normalisées sont illustrées par les tracés dans les panneaux de gauche et les données non normalisées utilisées dans les graphiques en nuage et les régressions linéaires dans les panneaux de droite.

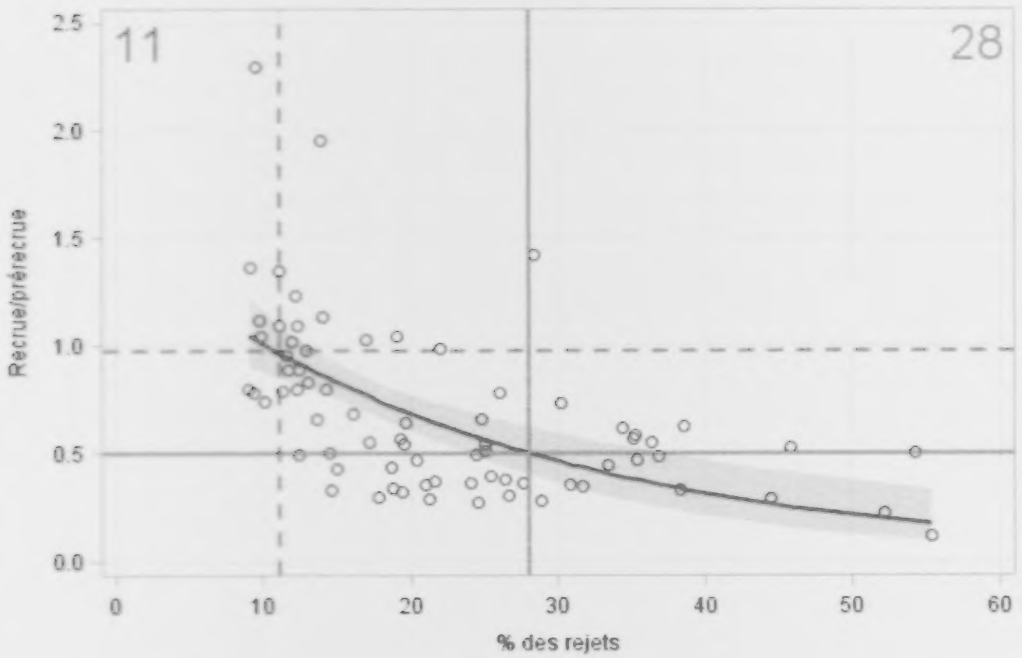

Figure 30. Point de référence limite et point de référence supérieur des rejets de la pêche, d'après l'analyse de $D_{efficient}$. L'ombrage indique les intervalles de confiance de 95 % tirés du modèle de régression.

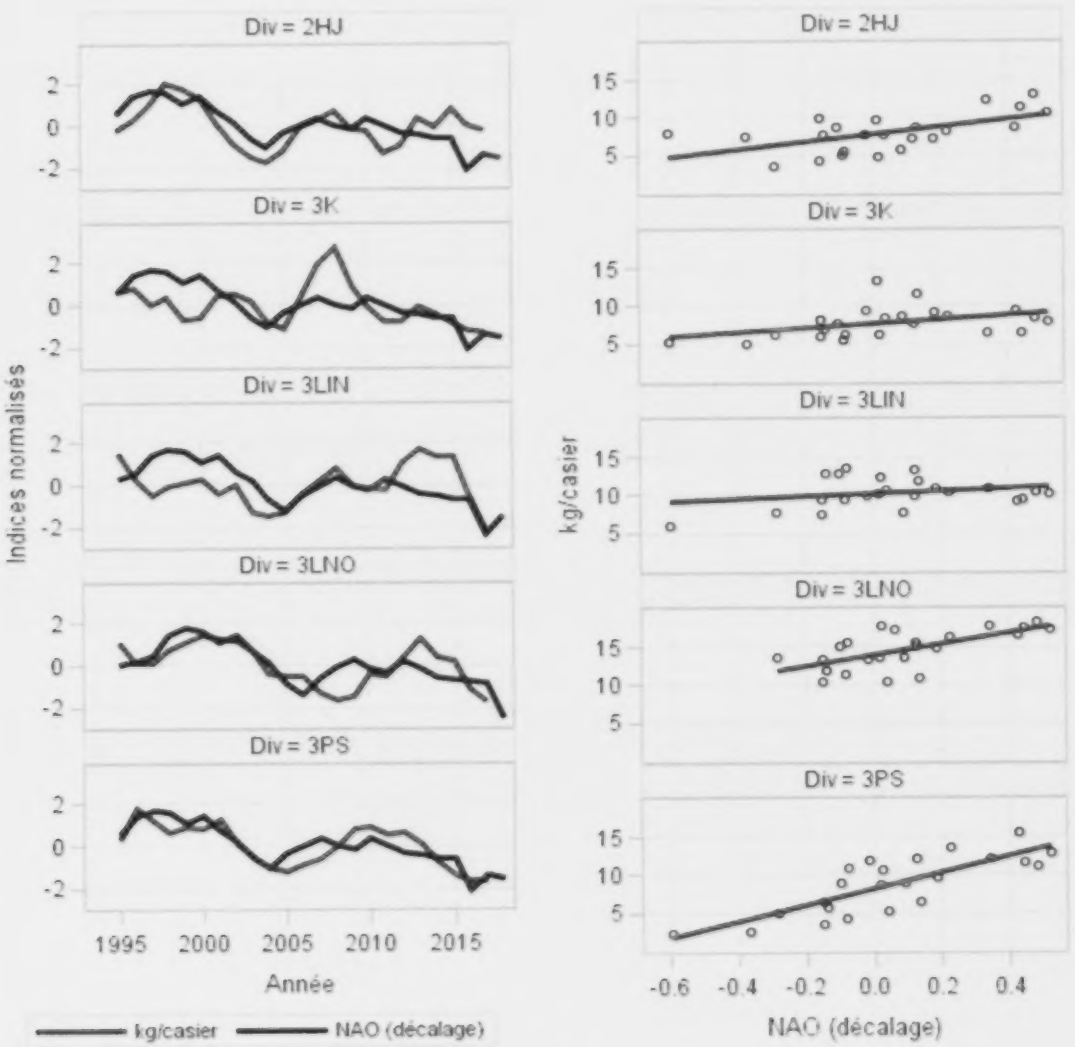

Figure 31. CPUE de la pêche par rapport à l'indice de la NAO décalée, par division d'évaluation. Les données normalisées sont illustrées par les tracés dans les panneaux de gauche et les données non normalisées utilisées dans les graphiques en nuage et les régressions linéaires dans les panneaux de droite.

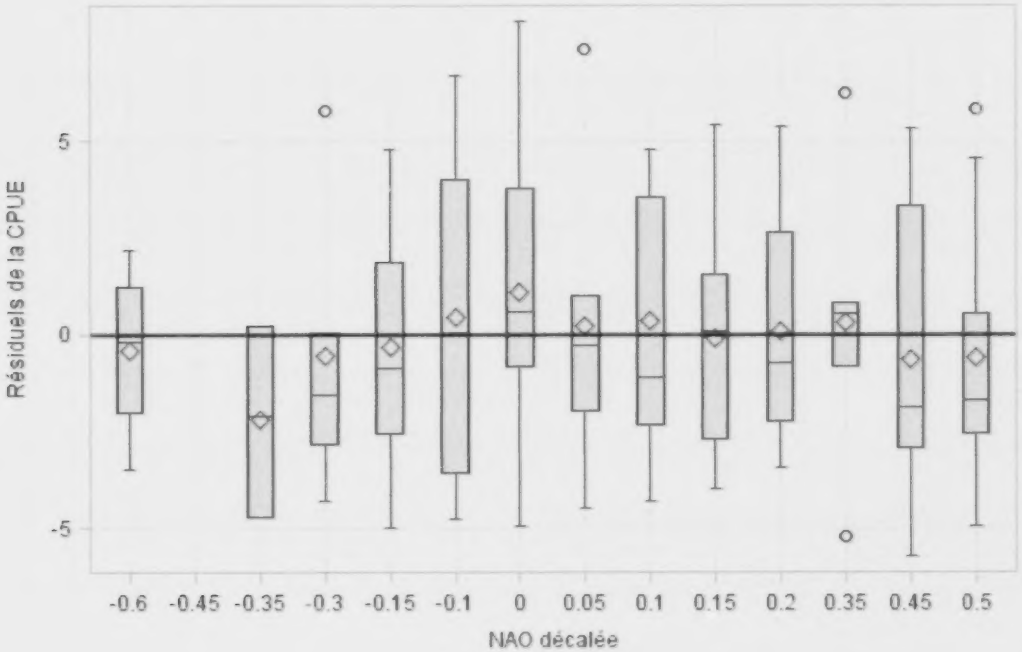

Figure 32. Diagramme de quartiles des résiduels d'après le modèle de régression de la CPUE et de la NAO décalée.

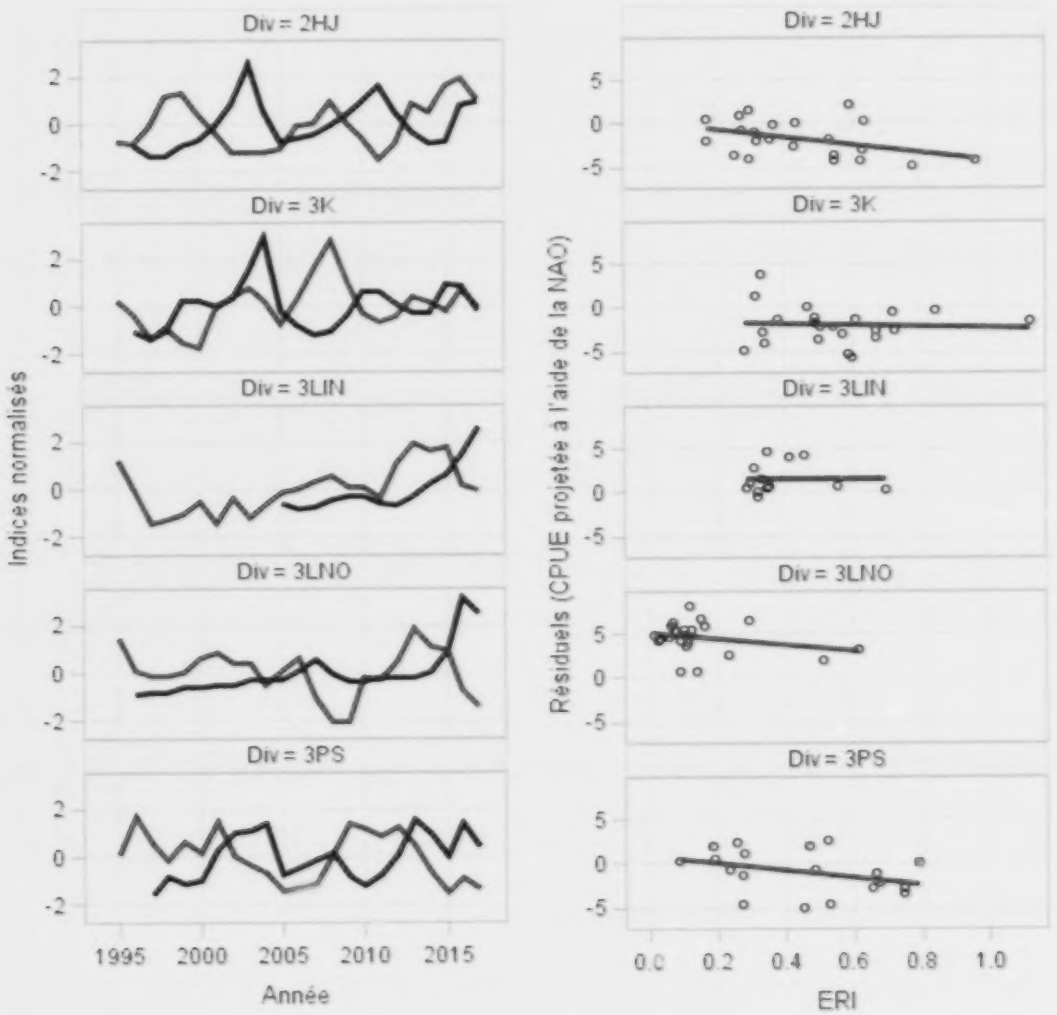

Figure 33. Résiduels de la CPUE observée et prédite d'après la NAO par rapport aux indices du taux d'exploitation, par division d'évaluation. Les données normalisées sont illustrées par les tracés dans les panneaux de gauche et les données non normalisées utilisées dans les graphiques en nuage et les régressions linéaires dans les panneaux de droite.

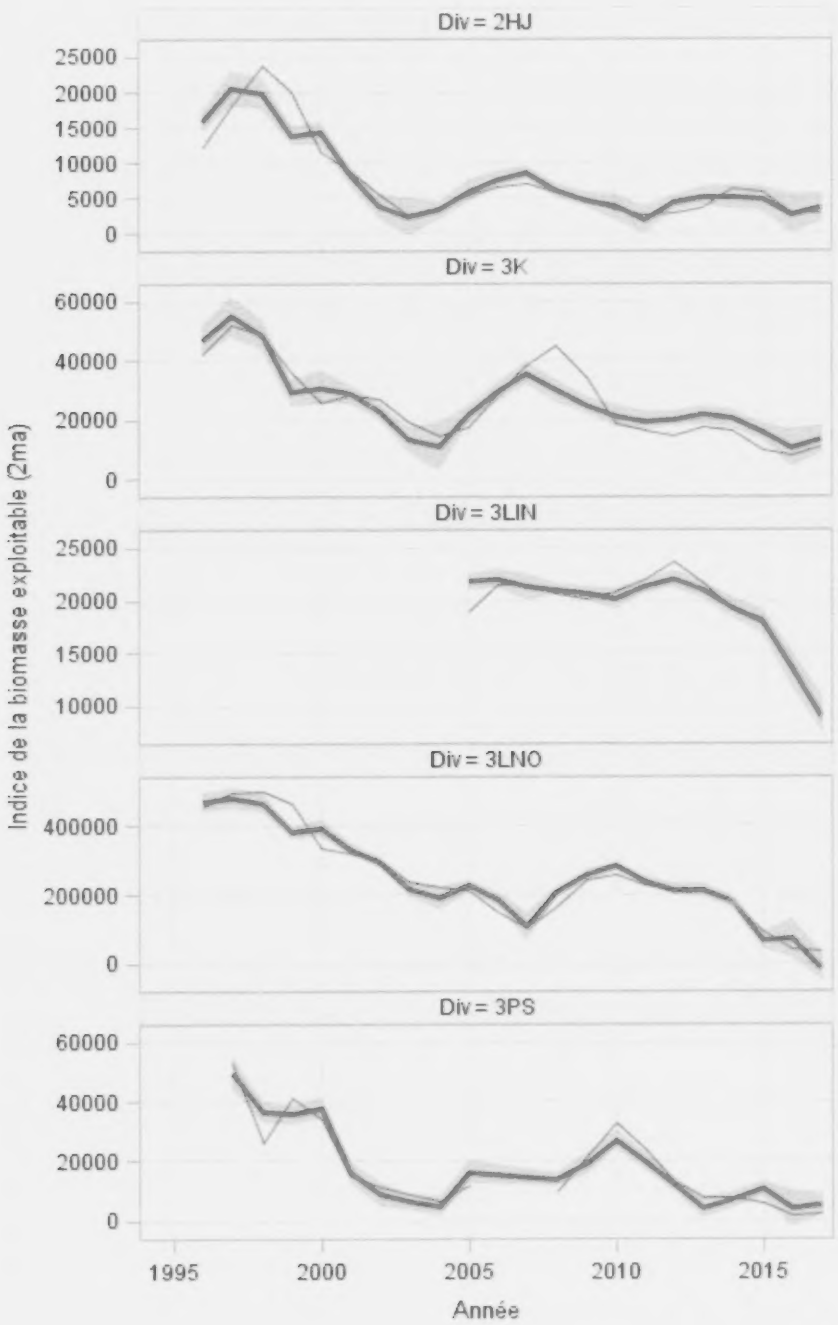

Figure 34. Indices de la biomasse exploitable pour les divisions d'évaluation faisant l'objet d'un relevé au chalut, d'après un modèle linéaire généralisé intégrant les indices du taux d'exploitation annuels et selon la NAO décalée. Les lignes brunes minces représentent la biomasse observée, les lignes brunes épaisses la biomasse prédite par le modèle et les zones ombrées sont les intervalles de confiance de 95 % du modèle.

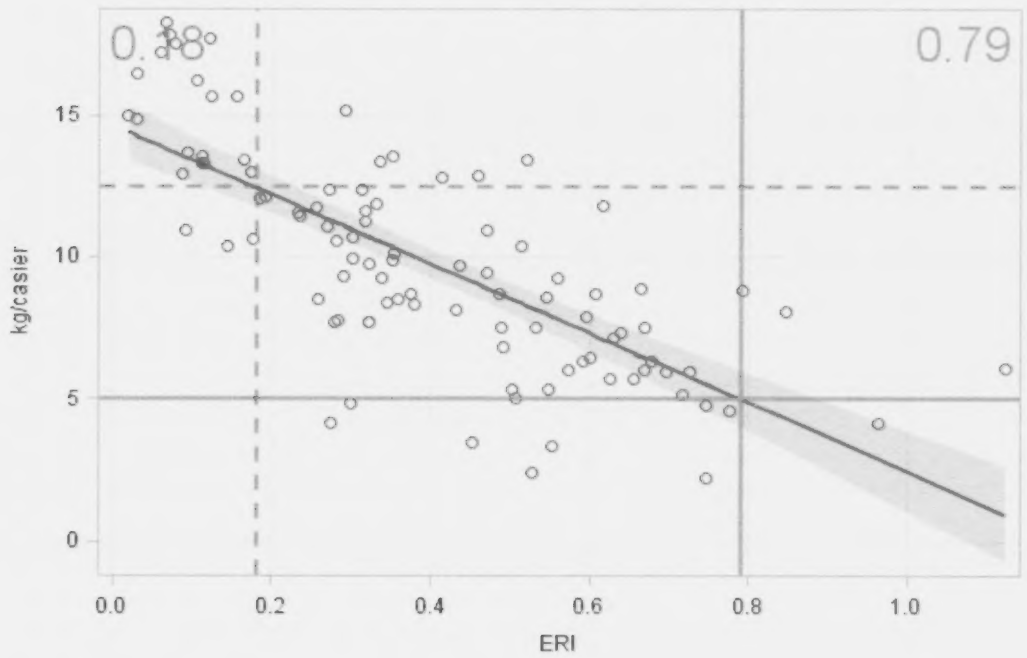

Figure 35. CPUE de la pêche par rapport aux indices du taux d'exploitation. Ligne de régression d'après le modèle linéaire généralisé. L'ombrage indique les intervalles de confiance de 95 %. Les lignes colorées verticales représentent les niveaux du taux d'exploitation où la courbe de régression coupe le point de référence limite (rouge) et le point de référence supérieur (vert) de la CPUE.

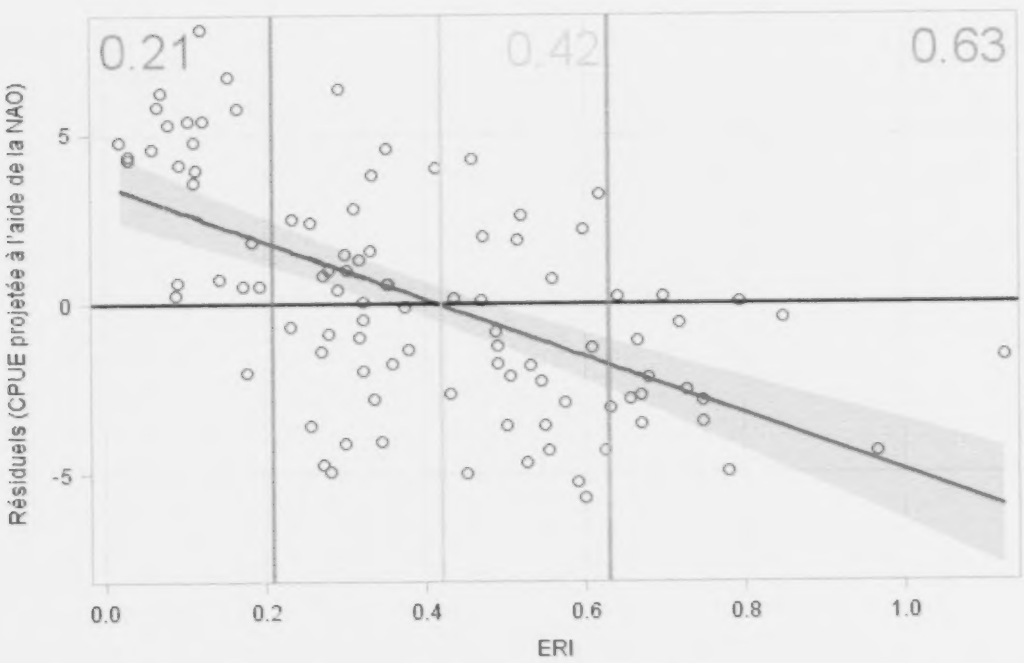

Figure 36. Résiduels de la CPUE observée et prédite d'après la NAO par rapport aux indices du taux d'exploitation. Ligne de régression d'après le modèle linéaire généralisé. L'ombrage indique les intervalles de confiance de 95 %. La ligne noire horizontale représente la valeur zéro pour les résiduels. Les lignes colorées verticales représentent les niveaux du taux d'exploitation arbitraires où il est probable que l'on rencontrera des résiduels positifs, neutres et négatifs.

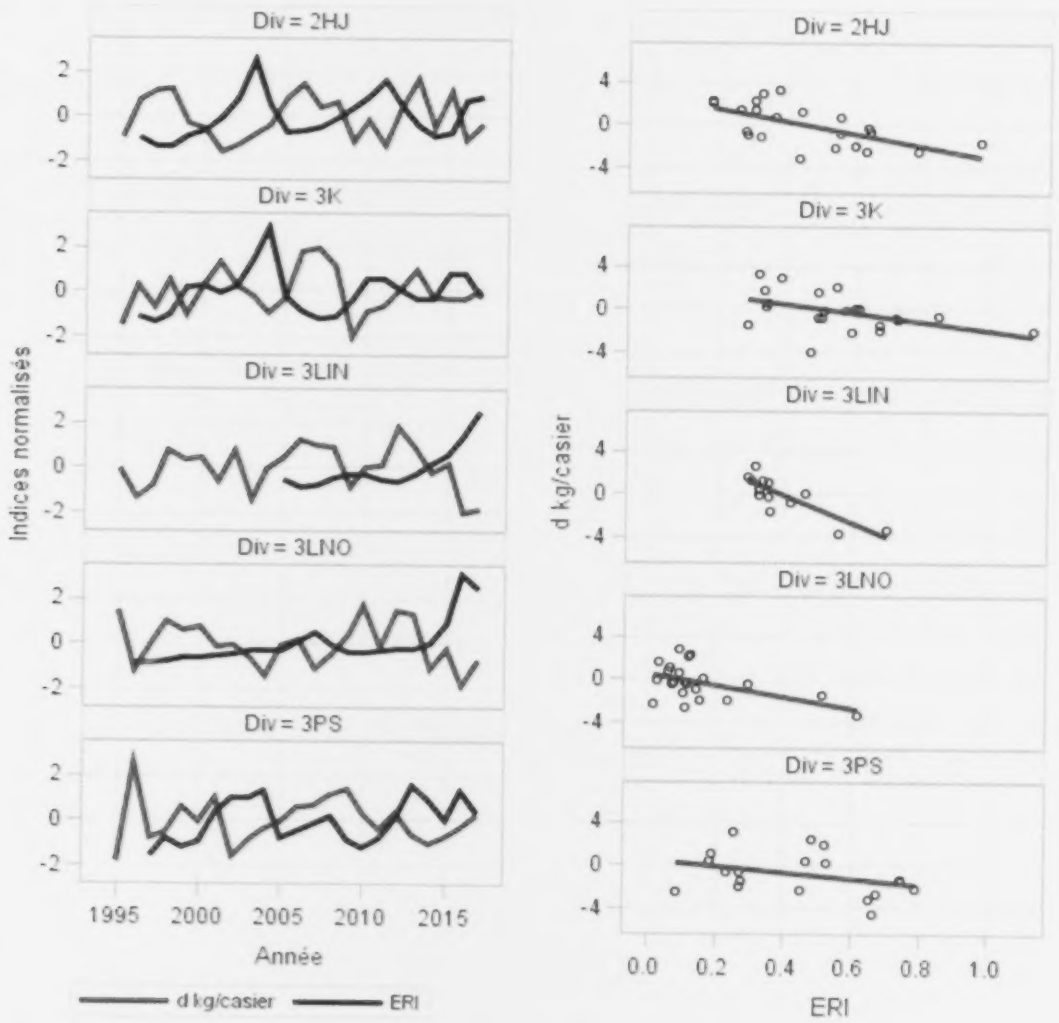

Figure 37. Variation du pourcentage annuel de la CPUE de la pêche par rapport aux indices du taux d'exploitation, par division d'évaluation. Les données normalisées sont illustrées par les tracés dans les panneaux de gauche et les données non normalisées utilisées dans les graphiques en nuage et les régressions linéaires dans les panneaux de droite.

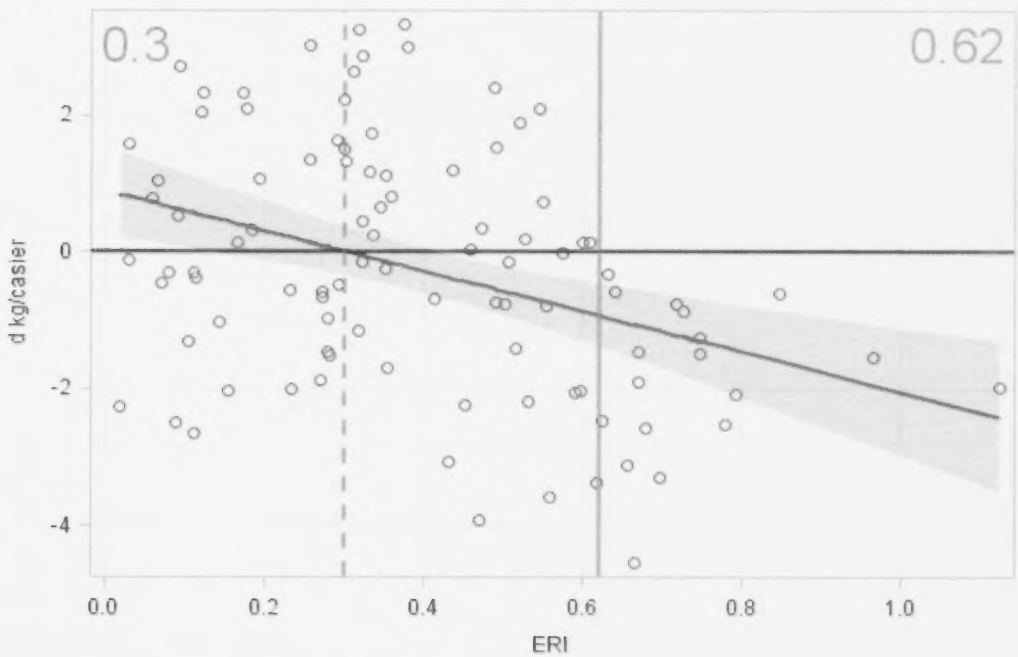

Figure 38. Variation du pourcentage annuel de la CPUE de la pêche par rapport aux indices du taux d'exploitation. Ligne de régression d'après le modèle linéaire généralisé. L'ombrage indique les intervalles de confiance de 95 %. La ligne noire horizontale représente la valeur zéro pour la variation de la CPUE annuelle. Les lignes colorées verticales représentent les points d'intersection du modèle de régression ou arbitraire pour les indices du taux d'exploitation où l'on prévoit une variation négative (rouge) ou nulle (verte) de la CPUE.

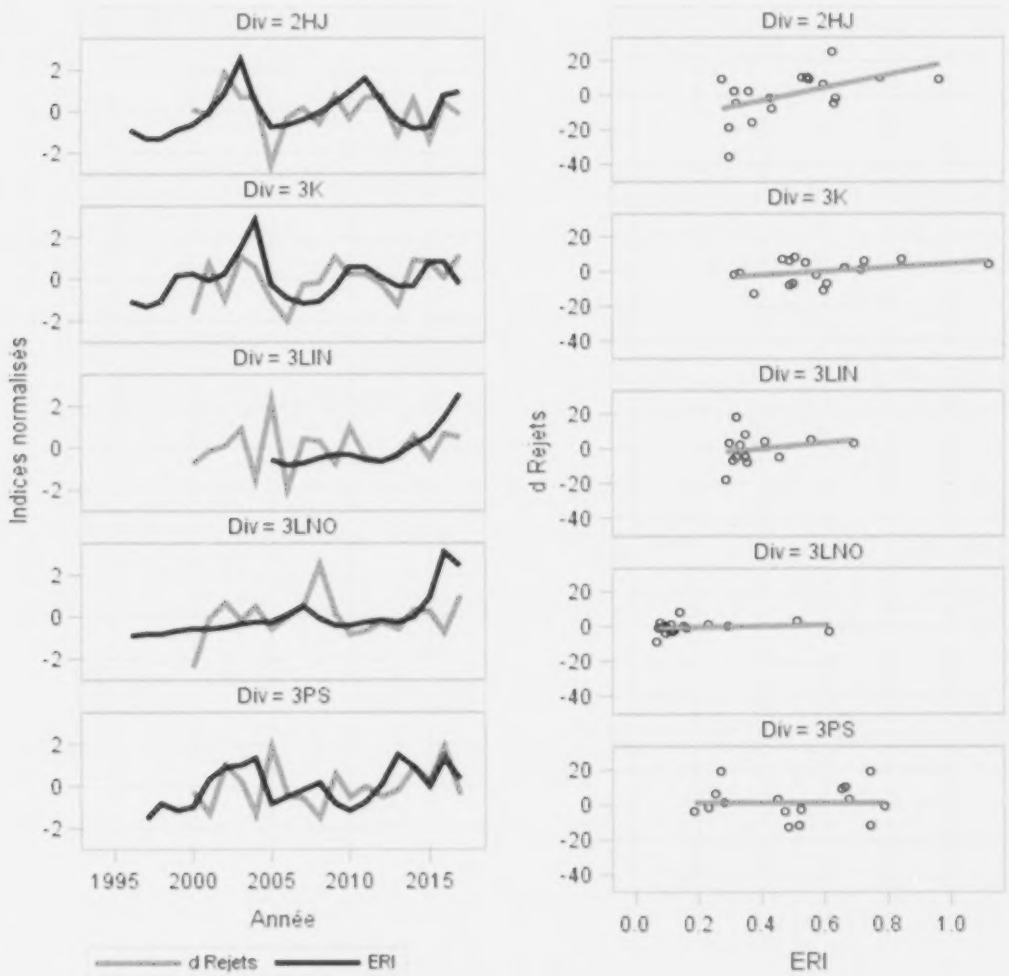

Figure 39. Variation du pourcentage annuel des rejets de la pêche par rapport aux indices du taux d'exploitation, par division d'évaluation. Les données normalisées sont illustrées par les tracés dans les panneaux de gauche et les données non normalisées utilisées dans les graphiques en nuage et les régressions linéaires dans les panneaux de droite.

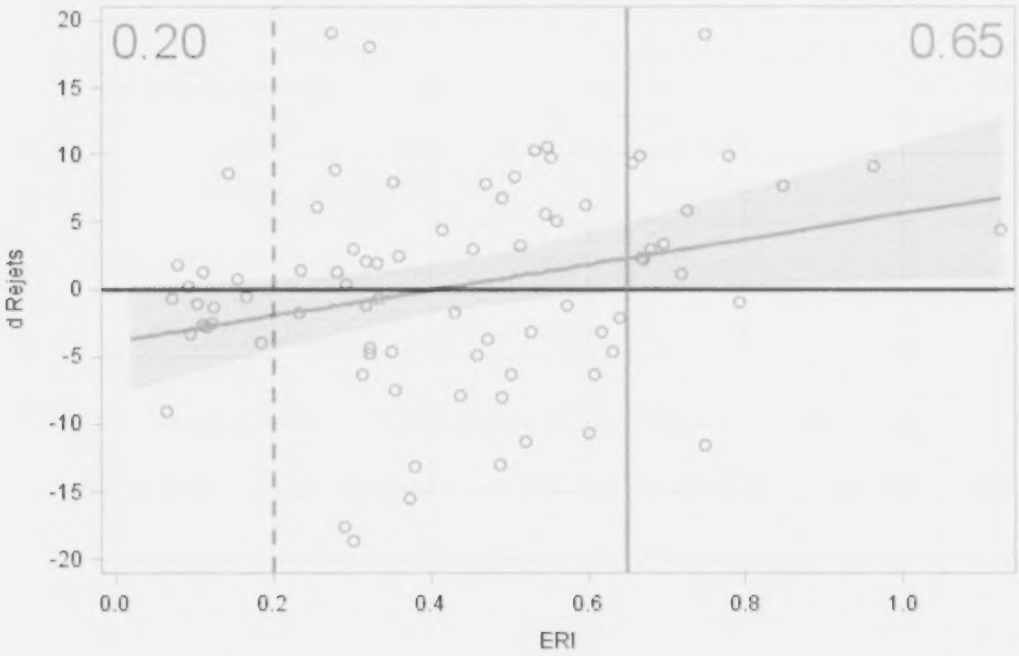

Figure 40. Variation du pourcentage annuel des rejets de la pêche par rapport aux indices du taux d'exploitation. Ligne de régression d'après le modèle linéaire généralisé. L'ombrage indique les intervalles de confiance de 95 %. La ligne noire horizontale représente la valeur zéro pour la variation des niveaux de rejets annuels. Les lignes colorées verticales représentent les points d'intersection du modèle de régression ou arbitraire pour les indices du taux d'exploitation où l'on prévoit une variation négative (rouge) ou nulle (verte) des niveaux de rejets.

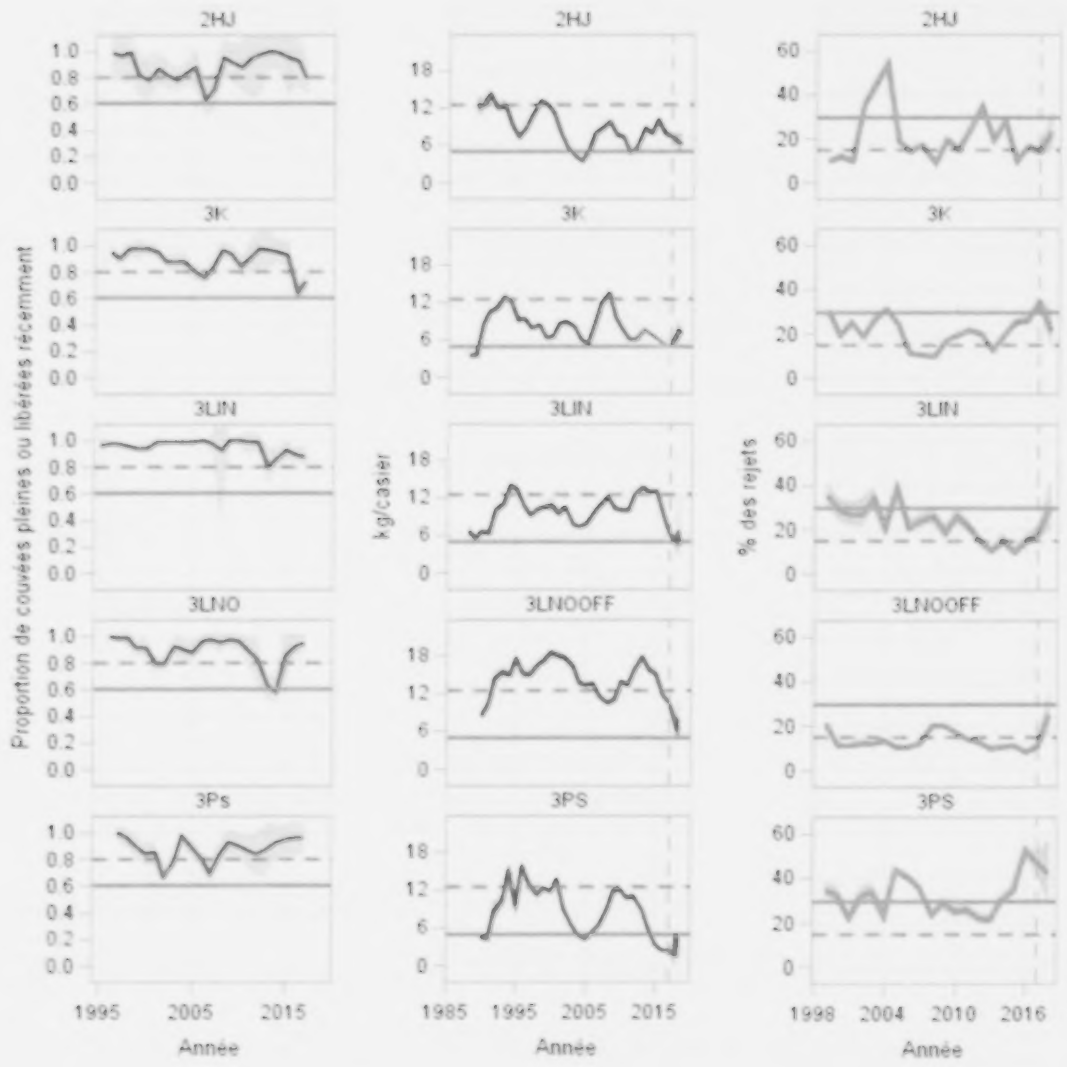

Figure 41. État du stock par rapport aux paramètres et niveaux des points de référence proposés pour le cadre AP/CD (couvées d'œufs dans les panneaux de gauche, CPUE dans les panneaux du milieu, rejets dans les panneaux de droite). Noter que la CPUE projetée pour 2018 présume le statu quo des débarquements et des dates de la saison et que les rejets projetés pour 2018 présument le statu quo des durées d'immersion.

TABLEAUX

Tableau 1. Sortie du modèle linéaire généralisé pour la CPUE par rapport à la NAO décalée - Analyse des estimations du paramètre par la vraisemblance maximale.

Paramètre	DF	Estimation	Écart-type	IC inférieur de 95 %	IC supérieur de 95 %	Chi carré de Wald	PR> ChiSq
Interception	1	9,4146	0,3136	8,7999	10,0292	901,19	<0,0001
NAO	1	6,2388	1,164	3,9574	8,5201	28,73	<0,0001
Échelle	1	3,2703	0,2156	2,8739	3,7215	-	-

Tableau 2. Sortie du modèle linéaire généralisé pour la CPUE par rapport à l'indice du taux d'exploitation - Analyse des estimations du paramètre par la vraisemblance maximale.

Paramètre	DF	Estimation	Écart-type	IC inférieur de 95 %	IC supérieur de 95 %	Chi carré de Wald	PR> ChiSq
Interception	1	3,5264	0,5378	2,4722	4,5805	42,99	<0,0001
NAO	1	-8,4724	1,1724	-10,7702	-6,1747	52,23	<0,0001
Échelle	1	2,6633	0,1902	2,3154	3,0635	-	-

Tableau 3. Sortie du modèle linéaire généralisé pour l'indice de la biomasse exploitable par rapport aux indices du taux d'exploitation annuels et selon la NAO décalée, par division d'évaluation - Analyse des estimations du paramètre par la vraisemblance maximale.

2HJ

Paramètre	DF	Estimation	Écart-type	IC inférieur de 95 %	IC supérieur de 95 %	Chi carré de Wald	Pr > Chi Sq
Interception	1	10 560,33	1 351,547	7 911,345	13 209,31	61,05	<0,0001
eri	1	-10 939,8	2 676,496	-1 6185,7	-5 694,01	16,71	<0,0001
nao	1	31 345,74	4 201,798	2 3110,37	39 581,12	55,65	<0,0001
eri*nao	1	-48 626,4	9 569,627	-6 7382,5	-2 9870,3	25,82	<0,0001
Échelle	1	2 089,984	315,0769	1 555,319	2 808,448	-	-

3K

Paramètre	DF	Estimation	Écart-type	IC inférieur de 95 %	IC supérieur de 95 %	Chi carré de Wald	Pr > Chi Sq
Interception	1	39 103,01	4 169,716	30 930,52	47 275,5	87,94	<0,0001
eri	1	-29 935,5	7 227,548	-44 101,2	-15 769,8	17,16	<0,0001
nao	1	68 503,82	12 595,79	43 816,53	93 191,11	29,58	<0,0001
eri*nao	1	-77 873,7	22 494,86	-121 963	-33 784,6	11,98	0,0005
Échelle	1	5 446,754	821,1291	4 053,352	7 319,16	-	-

3LIN

Paramètre	DF	Estimation	Écart-type	IC inférieur de 95 %	IC supérieur de 95 %	Chi carré de Wald	Pr > ChiSq
Interception	1	29 710,99	2 151,416	25 494,3	33 927,69	190,72	<0,0001
eri	1	-25 910,3	6 296,123	-38 250,5	-13 570,1	16,94	<0,0001
nao	1	-14 278,5	8 283,92	-30 514,7	1 957,664	2,97	0,0848
eri*nao	1	30 838,73	18 427,15	-5 277,83	66 955,29	2,8	0,0942
Échelle	1	991,6983	194,488	675,2199	1 456,512	-	-

3LNO

Paramètre	DF	Estimation	Écart-type	IC inférieur de 95 %	IC supérieur de 95 %	Chi carré de Wald	Pr > ChiSq
Interception	1	352 077,3	16 872,91	319 007	385 147,6	435,41	<0,0001
eri	1	-1 029 829	118 512,4	-1 262 109	-797 549	75,51	<0,0001
nao	1	343 989,8	37 418,48	270 651	417 328,7	84,51	<0,0001
eri*nao	1	-1 532 664	189 213,6	-1 903 516	-1 161 812	65,61	<0,0001
Échelle	1	31 917,36	4 811,723	23 752,18	42 889,45	-	-

3PS

Paramètre	DF	Estimation	Écart-type	IC inférieur de 95 %	IC supérieur de 96 %	Chi carré de Wald	Pr > ChiSq
Interception	1	27 134,77	3 097,453	21 063,88	33 205,67	76,74	<0,0001
eri	1	-29 016,6	6 195,504	-41 159,6	-16 873,7	21,94	<0,0001
nao	1	54 661,32	8 315,223	38 363,78	70 958,86	43,21	<0,0001
eri*nao	1	-69 565,4	16 018,33	-100 961	-38 170	18,86	<0,0001
Échelle	1	4 129,883	669,9555	3 005,07	5 675,719		-

Tableau 4. Propositions de contrôles de gestion à intégrer dans les règles de contrôle des prises pour traiter les résultats négatifs dans chaque paramètre d'évaluation du cadre.

Couvées d'œufs	CPUE	Rejets
- Réduire l'indice du taux d'exploitation - Restrictions de la profondeur de la pêche	- Réduire l'indice du taux d'exploitation - Raccourcir ou décaler la saison de pêche	- Règles plus strictes du protocole en cas de rencontre d'animaux à carapace molle - Raccourcir ou décaler la saison de pêche - Modifications des engins pour réduire les prises de petits individus - Augmenter la durée d'immersion - Restrictions de la profondeur de la pêche